

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

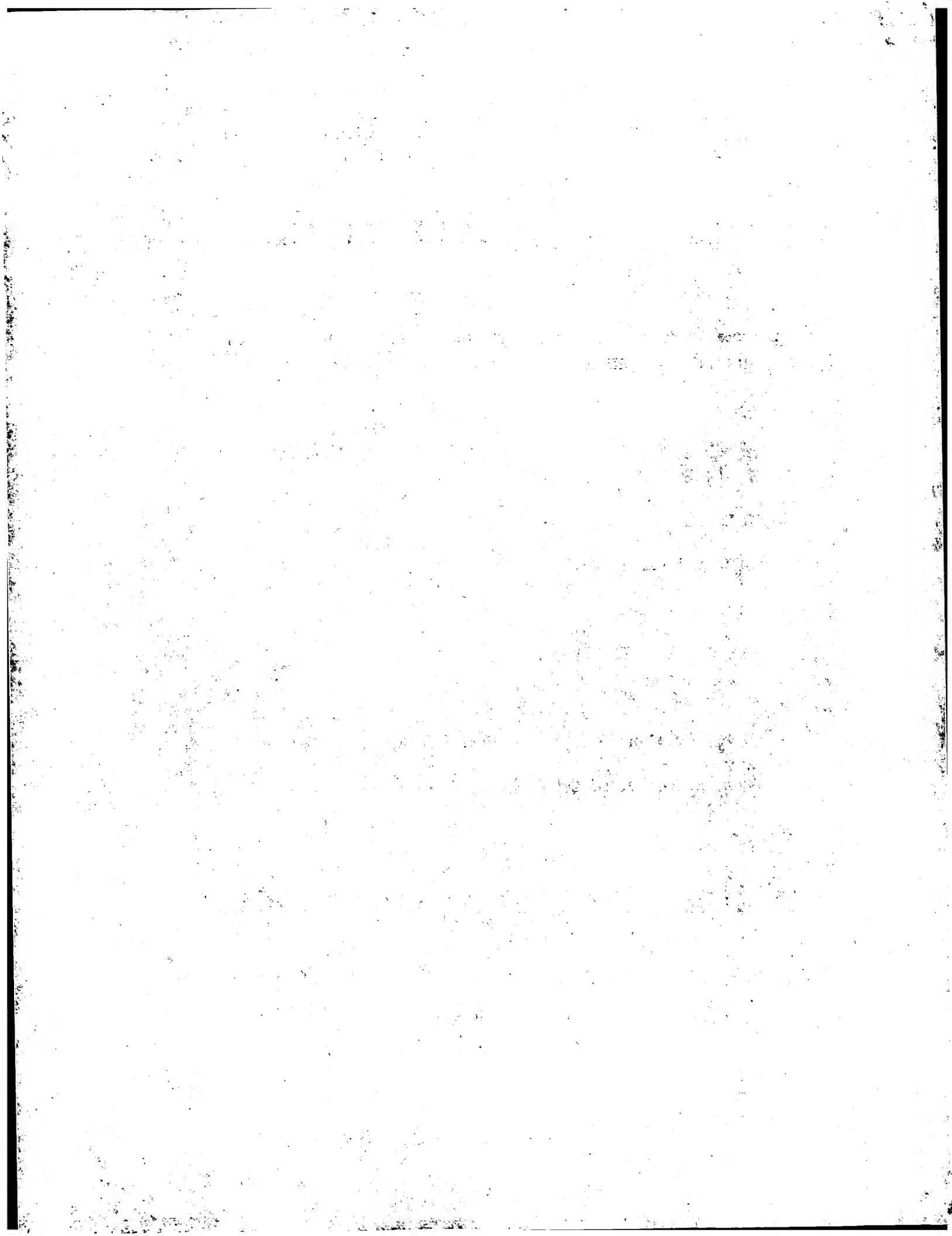
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



# Hydraulic control valve and fuel injector using same

Patent number: DE10164284

Publication date: 2002-07-18

Inventor: HAYASHI SATOSHI (JP); IGASHIRA TOSHIHIKO (JP)

Applicant: DENSO CORP (JP)

Classification:

- international: F02M47/02; F15B5/00

- european: F02M47/02D; F02M59/46E2; F16K31/00E3

Application number: DE20011064284 20011228

Priority number(s): JP20000400270 20001228; JP20000400262 20001228; JP20010272970 20010910

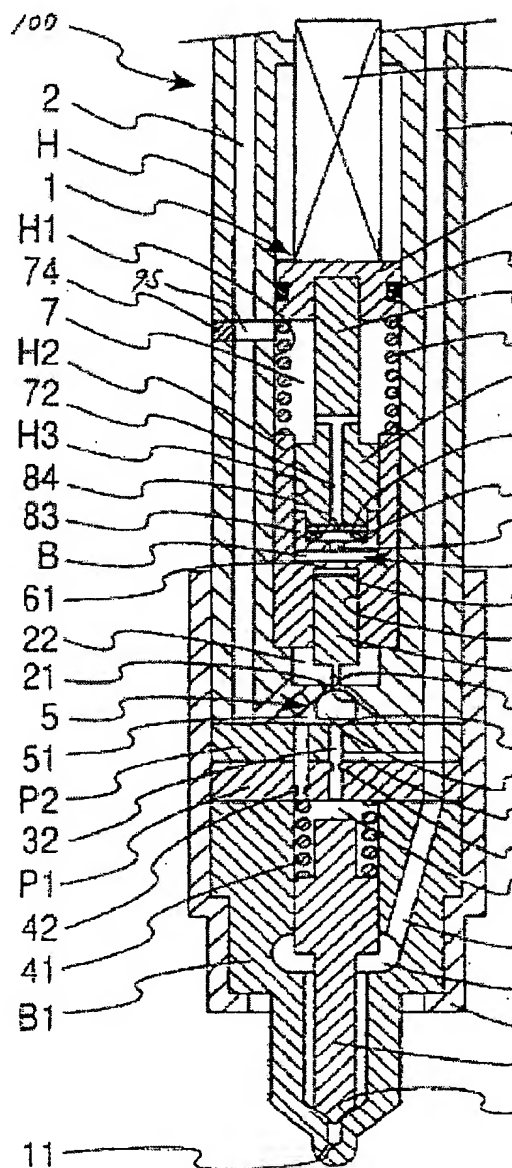
Also published

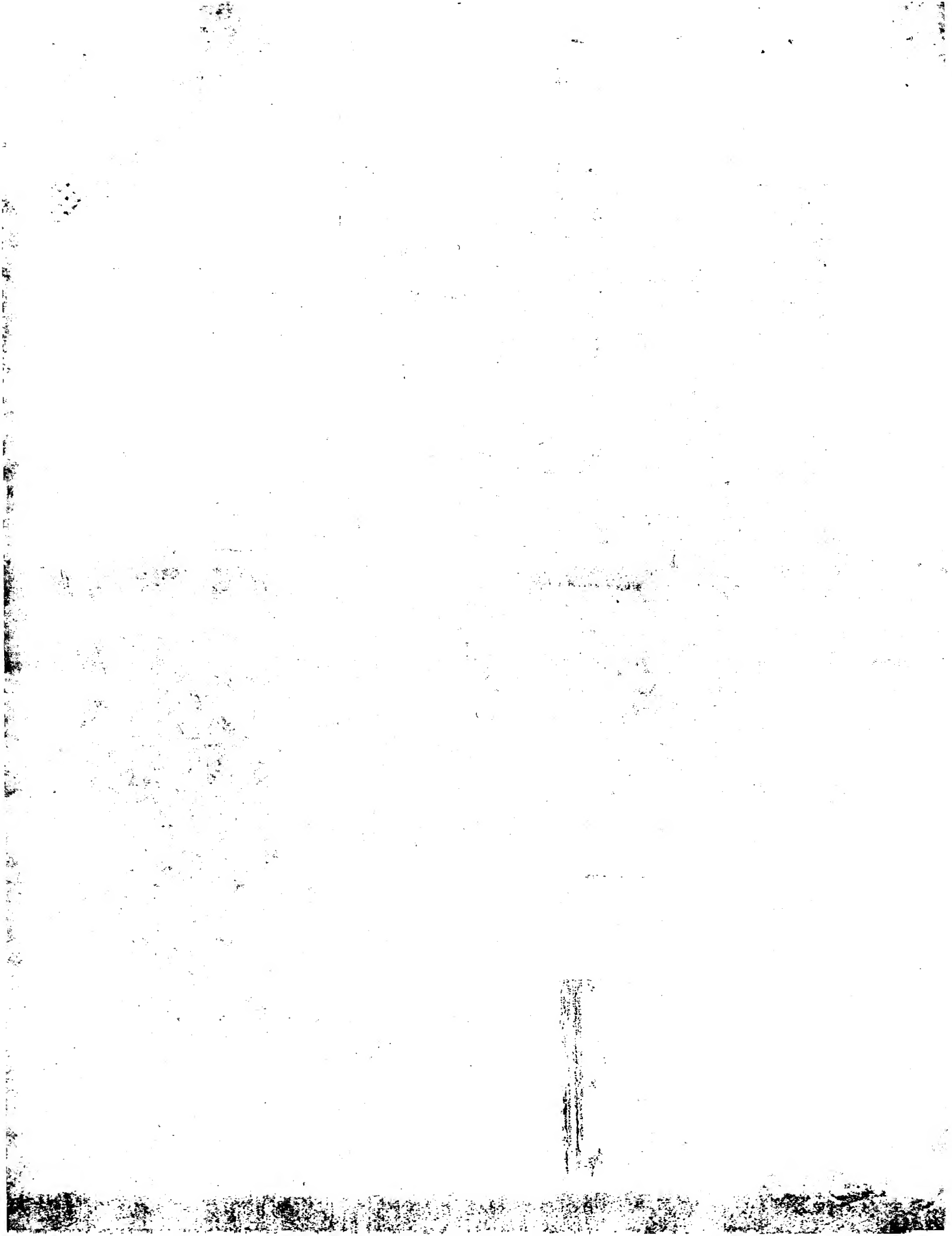
US2002  
FR2819

Abstract not available for DE10164284

Abstract of correspondent: US2002117560

An improved structure of a hydraulic control valve is provided which may be employed in a fuel injector for an automotive engine. The hydraulic control valve includes a piezoelectric actuator and a hydraulic valve mechanism. The hydraulic valve mechanism works to convert a mechanical deformation of the piezoelectric actuator produced as a result of application of a voltage into a hydraulic pressure to move a valve member hydraulically for opening and closing a fluid port selectively. The hydraulic valve mechanism is so designed that the piezoelectric actuator produces a maximum output force which works to develop the hydraulic pressure when opening the fluid port through the valve member and decreases after the fluid port is opened and which is set smaller than one-half of a maximum possible output force of the piezoelectric actuator under application of a maximum working voltage to said piezoelectric actuator, thereby ensuring a maximum movement of the valve member at high energy efficiency under application of the voltage within a working voltage range.







①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

①2 Offenlegungsschrift  
①0 DE 101 64 284 A 1

⑤ Int. Cl. 7:  
F 02 M 47/02  
F 15 B 5/00

②1 Aktenzeichen: 101 64 284.9  
②2 Anmeldetag: 28. 12. 2001  
②3 Offenlegungstag: 18. 7. 2002

DE 101 64 284 A 1

③0 Unionspriorität:

00-400270	28. 12. 2000	JP
00-400262	28. 12. 2000	JP
01-272970	10. 09. 2001	JP

⑦1 Anmelder:

Denso Corp., Kariya, Aichi, JP

⑦4 Vertreter:

Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner GbR, 80336  
München

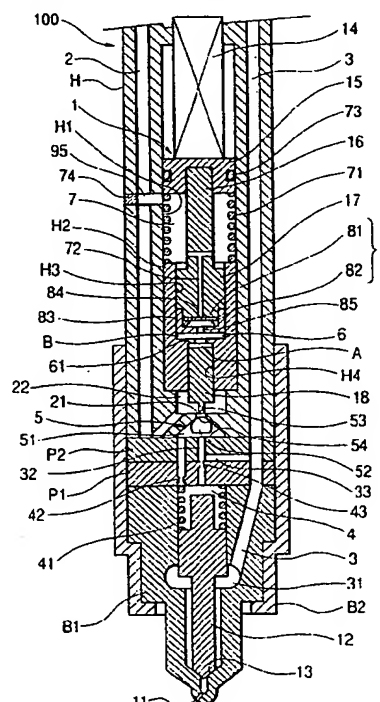
⑦2 Erfinder:

Igashira, Toshihiko, Kariya, Aichi, JP; Hayashi,  
Satoshi, Kariya, Aichi, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Hydrauliksteuerventil und Kraftstoffeinspritzeinrichtung, die dieses verwendet

- ⑤7 Ein verbesserter Aufbau eines Hydrauliksteuerventils ist zur Anwendung bei einer Kraftstoffeinspritzeinrichtung für einen Kraftfahrzeugmotor vorgesehen. Das Hydrauliksteuerventil hat einen piezoelektrischen Betätiger und einen Hydraulikventilmechanismus. Der Hydraulikventilmechanismus bewirkt ein Umwandeln einer als Folge eines Spannungsanlegens erzeugten mechanischen Verformung des piezoelektrischen Betätigers in einen hydraulischen Druck, um ein Ventilelement zum wahlweisen Öffnen und Schließen einer Fluidöffnung hydraulisch zu bewegen. Der Hydraulikventilmechanismus ist so gestaltet, dass der piezoelektrische Betätiger eine maximale Abgabekraft erzeugt, die ein Wirksamwerden des hydraulischen Drucks beim Öffnen der Fluidöffnung des Ventilelements bewirkt und sinkt, nachdem die Fluidöffnung geöffnet ist, und die kleiner als die Hälfte einer maximal möglichen Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigers bei Anlegen einer maximalen Arbeitsspannung an dem piezoelektrischen Betätiger eingestellt ist, wodurch eine maximale Bewegung des Ventilelements bei hoher Energieeffizienz bei Anlegen einer Spannung innerhalb eines Arbeitsspannungsbereiches sichergestellt ist.



DE 101 64 284 A 1

## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich im Allgemeinen auf ein Hydrauliksteuerventil, das mit einem piezoelektrischen Ventilbetätigungsglied ausgerüstet ist, und eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung, die dieses verwendet.

[0002] Typische Kraftstoffeinspritzsystem der Common-Rail-Art für Dieselmotoren von Kraftfahrzeugen haben eine Common Rail, in der von einer Hochdruckpumpe gelieferte, unter hohem Druck stehende Kraftstoff gespeichert wird und der unter hohem Druck stehende Kraftstoff in jeden Zylinder des Motors durch eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung eingespritzt wird. In der Vergangenheit sind als solche Kraftstoffeinspritzeinrichtungen hydraulische Steuerventile, die mit einem schnell ansprechenden piezoelektrischen Ventilbetätigungsglied ausgerüstet sind, vorgeschlagen worden, die einen Kolben mit einem großen Durchmesser, der durch das Ausdehnen und das Zusammenziehen des piezoelektrischen Ventilbetätigungsgliedes bewegt wird, eine mit einem hydraulischen Fluid gefüllte Verschiebungsverstärkungskammer und einen Kolben mit einem kleinen Durchmesser haben, die zueinander ausgerichtet angeordnet sind. Die Bewegung des Kolbens mit dem großen Durchmesser bewirkt eine Druckänderung des hydraulischen Fluides in der Druckkammer zur Bewegung des Kolbens mit dem kleinen Durchmesser, wodurch ein Steuerventil betätigt wird. Genauer gesagt bewirkt die Verschiebungsverstärkungskammer ein hydraulisches Verstärken der Ausdehnung oder der Verschiebung des piezoelektrischen Ventilbetätigungsgliedes unter Verwendung einer hydraulischen Kraftübertragung und überträgt diese zu dem Kolben mit dem kleinen Durchmesser. Der Verstärkungsfaktor wird durch das Verhältnis (S/s) einer Druckanregungsfläche (S in mm<sup>2</sup>) des Kolbens mit dem großen Durchmesser (d. h., eine Fläche von einem Ende des Kolbens mit dem großen Durchmesser, an der der hydraulische Druck wirkt) gegenüber einer Druckanregungsfläche (s in mm<sup>2</sup>) des Kolbens mit dem kleinen Durchmesser ausgedrückt.

[0003] Das Steuerventil ist so gestaltet, dass es wahlweise entweder eine Niederdrucköffnung, die zu einem Ablaufkanal führt, oder eine Hochdrucköffnung schließt, die zu der Common Rail führt, um den Druck innerhalb einer Steuerkammer zu steuern, die einen Gegendruck zu einer Düsennadel der Kraftstoffeinspritzeinrichtung vorsieht. Genauer gesagt wird, wenn das Steuerventil die Niederdrucköffnung öffnet, um eine Fluidverbindung zwischen der Steuerkammer und dem Ablaufkanal zu errichten, und die Hochdrucköffnung schließt, ein Abfall des Drucks in der Steuerkammer bewirkt, um die Düsennadel nach oben zu heben, wodurch der Kraftstoff aus einem Sprühloch gesprüht wird. Wenn das Beenden der Kraftstoffeinspritzung erforderlich ist, öffnet das Steuerventil die Hochdrucköffnung, um eine Fluidverbindung zwischen der Steuerkammer und der Common Rail zu errichten, während es die Niederdrucköffnung schließt, wobei es bewirkt, dass der Druck in der Steuerkammer ansteigt, um die Düsennadel nach unten zu bewegen, wodurch das Sprühloch geschlossen wird.

[0004] Typische piezoelektrische Vorrichtungen, die als Betätigungsglieder verwendet werden, haben eine Beziehung der Verschiebung gegenüber der Abgabekraft, wie sie in Fig. 4(a) gezeigt ist, wenn eine angelegte Spannung konstant ist (eine maximale zulässige Spannung). Die maximale zulässige Spannung ist eine empfohlene maximale Spannung oder Arbeitsspannung (beispielsweise 150 V), die sicher an der piezoelektrischen Vorrichtung ohne Gefahr einer Beschädigung der piezoelektrischen Vorrichtung oder eines elektrischen Treibers für diese angelegt werden kann. Wenn die angelegte Spannung konstant ist, wird eine mechanische

Verdrehung oder Verschiebung der piezoelektrischen Vorrichtung in einem umgekehrten Verhältnis zu ihrer Abgabekraft erzeugt. Wenn die Verschiebung der piezoelektrischen Vorrichtung vollständig unterdrückt wird, erzeugt die piezoelektrische Vorrichtung eine maximale Abgabekraft. Eine Arbeit der piezoelektrischen Vorrichtung ist proportional zu der aufgetragenen elektrischen Energie und hat eine vorgegebene Wechselbeziehung zu der Abgabekraft. Die Beziehung zwischen einer maximalen Arbeit und der Abgabekraft der piezoelektrischen Vorrichtung, wenn diese einer maximalen Last unterworfen ist, ist in Fig. 4(b) gezeigt. Im allgemeinen ist bekannt, dass ein durch eine piezoelektrische Vorrichtung ausgeführtes Betätigungsglied vorzugsweise im Hinblick auf die Energieeffizienz so gestaltet ist, dass die Abgabekraft des Betätigungsgliedes bei auf dieses aufgetragener maximaler erforderlicher Last die Hälfte einer maximal möglichen Abgabekraft von diesem sein kann (d. h., eine Abgabekraft, die dann erzeugt wird, wenn die Verformung des Betätigungsgliedes auf 0 beschränkt ist), wodurch das Erzielen einer maximalen Arbeit bei Aufbringen einer konstanten elektrischen Energie auf das Betätigungsglied erzielt werden kann.

[0005] Beim Gestalten der Kraftstoffeinspritzeinrichtung mit der Absicht, dass sie den die hydraulische Kraftübertragung verwendenden vorstehend beschriebenen Aufbau hat, wurde dem nachstehend erörterten Nachteil begegnet. Die Kraftstoffeinspritzeinrichtung erfährt eine maximale erforderliche Last, wenn das Steuerventil die Niederdrucköffnung öffnet. Die Abgabekraft F eines piezoelektrischen Betätigungsgliedes, die zum Öffnen der Niederdrucköffnung erforderlich ist, wird ausgedrückt durch  $F = S_L \cdot P \cdot (S/s)$ , wobei  $S_L$  die Fläche (mm<sup>2</sup>) einer Ebene ist, die durch eine ringartige Linie definiert ist, die eine Kontaktlinie zwischen dem Steuerventil und dem Ventilsitz um die Niederdrucköffnung herum ist (die nachstehend als Sitzfläche bezeichnet ist), P der Druck (kg/mm<sup>2</sup>) des Kraftstoffes innerhalb der Common Rail ist und S/s der Verstärkungsfaktor ist. Der Verstärkungsfaktor wurde so bestimmt, dass die Abgabekraft F die Hälfte einer maximalen Abgabekraft sein kann, jedoch erreichte der Hubbetrag des Steuerventils nicht einen aus den Fig. 4(a) und 4(b) zu erwartenden Zielwert. Die gleichen Probleme wurden in einem Fall aufgeworfen, bei dem die zum Schließen der Hochdrucköffnung erforderliche Kraft (die üblicherweise niedriger als die zum Öffnen der Niederdrucköffnung erforderliche Kraft ist) wie vorstehend bestimmt wurde.

[0006] Bei der Analyse des vorstehend dargestellten Problems wurde herausgefunden, dass der Grund, weshalb der Hubbetrag des Steuerventils nicht den erwarteten Zielwert erreicht hatte, der Aufbau der Kraftstoffeinspritzeinrichtung an sich ist. Genauer gesagt, wenn elektrische Energie auf das piezoelektrische Betätigungsglied aufgebracht wird, wird dies einen Anstieg des hydraulischen Drucks in der Verschiebungsverstärkungskammer durch den Kolben mit dem großen Durchmesser bewirken. Wenn der hydraulische Druck innerhalb der Verschiebungsverstärkungskammer, der auf den Kolben mit dem kleinen Durchmesser wirkt, den Druck des Kraftstoffes überschreitet, der von der Hochdrucköffnung auf das Steuerventil aufgebracht wird, startet dieser einen Hub des Steuerventils, um die Niederdrucköffnung zu öffnen. Zu diesem Zeitpunkt wird die auf das piezoelektrische Betätigungsglied aufgetragene elektrische Energie so gesteuert, dass die über die Anschlüsse eines piezoelektrischen Elements des piezoelektrischen Betätigungsgliedes angelegte Spannung (die nachstehend als die Piezospannung bezeichnet ist) in Einklang mit der vorstehend beschriebenen maximalen zulässigen Spannung gebracht wird. Jedoch werden zu der Abgabekraft proportionale elektrische

Ladungen in dem piezoelektrischen Element erzeugt, wenn das Steuerventil angehoben wird, so dass die auf das piezoelektrische Betätigungsglied aufgebrachte Energie um den Energiebetrag der Ladungen abnimmt. Wenn die Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes durch einen Abfall des hydraulischen Drucks innerhalb der Steuerkammer abnimmt, der durch den Hub des Steuerventils bewirkt wird, verschwinden die Ladungen von dem piezoelektrischen Element, so dass die Piezospannung abfällt. Dieser Spannungsabfall ist als der Faktor befunden worden, durch den der Hubbetrag des Steuerventils nicht den erwarteten Zielwert erreicht.

[0007] Es ist daher eine Hauptaufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden.

[0008] Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, einen verbesserten Aufbau eines Hydrauliksteuerventils zu schaffen, das zum Sichern einer erforderlichen Ventilbewegung gestaltet ist, und eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung zu schaffen, die dieses verwendet.

[0009] Gemäss einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein verbesserter Aufbau eines Hydrauliksteuerventils geschaffen, das zum Sicherstellen einer erwünschten Bewegung eines Ventilelementes gestaltet ist. Das Hydrauliksteuerventil weist ein piezoelektrisches Betätigungsglied, das so arbeitet, dass es bei Anlegen einer Spannung verformt wird, und ein Hydraulikventilmechanismus auf, der so arbeitet, dass er die Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes in einen hydraulischen Druck umwandelt, um das Ventilelement hydraulisch zum Öffnen und Schließen einer Fluidöffnung wahlweise zu bewegen. Der Hydraulikventilmechanismus ist so gestaltet, dass das piezoelektrische Betätigungsglied eine maximale Abgabekraft erzeugt, die so arbeitet, dass sich der hydraulische Druck beim Öffnen der Fluidöffnung durch das Ventilelement ergibt. Die maximale Abgabekraft nimmt ab, nachdem die Fluidöffnung geöffnet worden ist, und wird kleiner als die Hälfte einer maximal möglichen Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes bei Anlegen einer maximalen Arbeitsspannung an das piezoelektrische Betätigungsglied eingestellt, wodurch eine maximale Bewegung des Ventilelementes bei Anlegen der Spannung innerhalb eines Arbeitsspannungsbereiches sichergestellt ist.

[0010] Bei einem bevorzugten Modus der Erfindung hat der Hydraulikventilmechanismus einen Kolben mit einem grossen Durchmesser und einen Kolben mit einem kleinen Durchmesser. Der Kolben mit dem grossen Durchmesser bewirkt ein Umwandeln der Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes in den hydraulischen Druck. Der hydraulische Druck wirkt an dem Kolben mit dem kleinen Durchmesser, um das Ventilelement zum Öffnen der Fluidöffnung zu bewegen. Der hydraulische Druck wird als eine Funktion eines Durchmesserverhältnisses von dem Kolben mit dem grossen Durchmesser gegenüber dem Kolben mit dem kleinen Durchmesser verstärkt. Das Durchmesserverhältnis ist so bestimmt, dass die maximale Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes beim Öffnen der Fluidöffnung kleiner als die Hälfte der maximal möglichen Abgabekraft von diesem eingestellt ist.

[0011] Die maximale Abgabekraft, die an dem hydraulischen Druck wirkt, wenn die Fluidöffnung durch das Ventilelement geöffnet wird, ist größer als oder gleich wie ein Viertel der maximal möglichen Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes eingestellt.

[0012] Gemäss dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung geschaffen, die bei einem Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeugs angewendet werden kann. Die Kraftstoffeinspritzeinrichtung

hat einen Kraftstoffsprühmechanismus, der ein Sprühen des Kraftstoffes bewirkt, und ein Hydrauliksteuerventil. Das Hydrauliksteuerventil besteht aus einem piezoelektrischen Betätigungsglied und einem Hydraulikventilmechanismus, der ein Betätigen des Kraftstoffsprühmechanismus bewirkt. Das piezoelektrische Betätigungsglied arbeitet so, dass es im Ansprechen auf das Anlegen einer Spannung verformt wird. Der Hydraulikventilmechanismus bewirkt ein Umwandeln der Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes in einen hydraulischen Druck, um ein Ventilelement zum Öffnen und Schließen einer Fluidöffnung wahlweise zu bewegen, wodurch ein zweiter hydraulischer Druck gesteuert wird, der zum Betätigen des Kraftstoffsprühmechanismus dient. Der Hydraulikventilmechanismus ist so gestaltet, dass das piezoelektrische Betätigungsglied eine maximale Abgabekraft erzeugt, die ein Wirksamwerden des hydraulischen Drucks beim Öffnen der Fluidöffnung durch das Ventilelement bewirkt. Die maximale Abgabekraft nimmt ab, nachdem die Fluidöffnung geöffnet worden ist, und wird kleiner als die Hälfte einer maximal möglichen Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes bei Anlegen einer maximalen Arbeitsspannung an das piezoelektrische Betätigungsglied eingestellt.

[0013] Der Kraftstoffsprühmechanismus hat eine Hydrauliksteuerkammer, in der ein hydraulischer Druck wirkt und gesteuert wird, indem wahlweise die Fluidöffnung durch das Ventilelement des Hydraulikventilmechanismus geöffnet und geschlossen wird, um eine Fluidverbindung zwischen der Hydrauliksteuerkammer und einem Niederdruckkanal jeweils zu errichten und zu blockieren. Der hydraulische Druck in der Hydrauliksteuerkammer bewirkt eine Bewegung einer Düsenadel zum Öffnen oder Schliessen eines Sprühlochs zum Starten oder Beenden einer Kraftstoffeinspritzung.

[0014] Der Hydraulikventilmechanismus hat eine Hydraulikkammer, in der die Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes in den hydraulischen Druck umgewandelt wird und die Höhe als eine Funktion der Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes geändert wird. Der hydraulische Druck in der Hydraulikkammer des Hydraulikventilmechanismus bewirkt eine Bewegung des Ventilelementes zum Öffnen der Fluidöffnung, wodurch die Fluidverbindung zwischen der Hydrauliksteuerkammer und dem Niederdruckkanal verwirklicht wird, um den hydraulischen Druck in der Hydrauliksteuerkammer zum Starten der Kraftstoffeinspritzung zu senken.

[0015] Die maximale Abgabekraft, die an dem Hydraulikdruck beim Öffnen der Fluidöffnung durch das Ventilelement wirkt, ist größer als oder gleich wie ein Viertel der maximal möglichen Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes eingestellt.

[0016] Gemäss dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Hydrauliksteuerventil geschaffen, das zum Sicherstellen einer gewünschten Bewegung eines Ventilelementes gestaltet ist. Das Hydrauliksteuerventil weist ein piezoelektrisches Betätigungsglied, das so arbeitet, dass es bei Aufbringen einer elektrischen Energie verformt, und ein Hydraulikventilmechanismus auf, der so arbeitet, dass er eine Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes in einen hydraulischen Druck umwandelt und den hydraulischen Druck als eine Funktion der Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes ändert, um ein Ventilelement zum Schliessen entweder einer Hochdrucköffnung, die zu einem Hochdruckkanal führt, oder einer Niederdrucköffnung zu bewegen, die zu einem Niederdruckkanal führt. Wenn die elektrische Energie auf das piezoelektrische Betätigungsglied aufgebracht wird, bewirkt der Hydraulikventilmechanismus ein Öffnen der Niederdrucköffnung durch

das Ventilelement, während die Hochdrucköffnung geschlossen wird. Alternativ bewirkt, wenn die elektrische Energie von dem piezoelektrischen Betätigungsglied abgegeben wird, der Hydraulikventilmechanismus ein Öffnen der Hochdrucköffnung, während die Niederdrucköffnung geschlossen wird. Der Hydraulikventilmechanismus ist so gestaltet, dass die auf das piezoelektrische Betätigungsglied aufgebrauchte elektrische Energie beim Öffnen der Niederdrucköffnung größer als oder gleich wie eine elektrische Energie ist, die zum Schließen der Hochdrucköffnung erforderlich ist, wodurch die Bewegung des Ventilelementes zum Errichten eines festen Eingriffes des Ventilelementes mit der Hochdrucköffnung sichergestellt ist. Das piezoelektrische Betätigungsglied kann durch ein magnetostriktives Betätigungsglied ersetzt werden, das so arbeitet, dass es schrumpft oder sich ausdehnt, wenn es in einem magnetischen Feld angeordnet ist.

[0017] Bei dem bevorzugten Modus der Erfindung hat der Hydraulikventilmechanismus eine Hydraulikkammer, in der die Verformung des Betätigungsgliedes in den hydraulischen Druck eines Arbeitsfluides umgewandelt wird und die Höhe als eine Funktion der Verformung des Betätigungsgliedes geändert wird, und einen Kolben, an dem der hydraulische Druck wirkt, um das Ventilelement so zu bewegen, dass das Ventilelement an entweder einem Niederdrucköffnungssitz, der um die Niederdrucköffnung herum ausgebildet ist, oder an einem Hochdrucköffnungssitz ruht, der um die Hochdrucköffnung herum ausgebildet ist. Der Hydraulikventilmechanismus ist so gestaltet, dass ex die nachstehende Beziehung erfüllt:

$$S_H \cdot P \cdot L + \frac{1}{2} \cdot (S_H \cdot P/s)^2 \cdot V/\gamma \leq \frac{1}{2} \cdot (S_L \cdot P/s)^2 \cdot V/\gamma$$

wobei  $S_L$  eine Fläche ( $\text{mm}^2$ ) des Niederdrucköffnungssitzes ist,  $S_H$  eine Fläche ( $\text{mm}^2$ ) des Hochdrucköffnungssitzes ist,  $V$  ein Volumen ( $\text{mm}^3$ ) der Hydraulikkammer ist,  $\gamma$  ein Kompressionsmodul ( $\text{kg/mm}^2$ ) des Arbeitsfluids in der Hydraulikkammer ist,  $s$  eine Fläche ( $\text{mm}^2$ ) des Kolbens ist, an dem der hydraulische Druck wirkt,  $L$  ein Abstand ( $\text{mm}$ ) ist, den das Ventilelement von der Niederdrucköffnung zu der Hochdrucköffnung zurücklegt, und  $P$  ein Druck ( $\text{kg/mm}^2$ ) in dem Hochdruckkanal ist.

[0018] Gemäss dem vierten Aspekt der Erfindung wird eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung geschaffen, die bei einem Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges angewendet werden kann. Die Kraftstoffeinspritzeinrichtung hat einen Kraftstoffsprühmechanismus, der ein Sprühen von Kraftstoff bewirkt, und ein Hydrauliksteuerventil. Das Hydrauliksteuerventil besteht aus einem piezoelektrischen Betätigungsglied und einem Hydraulikventilmechanismus, der ein Betätigen des Kraftstoffsprühmechanismus bewirkt. Das piezoelektrische Betätigungsglied arbeitet so, dass es sich bei Aufbringen einer elektrischen Energie verformt. Der Hydraulikventilmechanismus arbeitet so, dass er eine Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes in einen hydraulischen Druck umwandelt und den hydraulischen Druck als eine Funktion der Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes ändert, um ein Ventilelement so zu bewegen, dass es entweder eine Hochdrucköffnung, die zu einem Hochdruckkanal führt, schließt oder eine Niederdrucköffnung, die zu einem Niederdruckkanal führt, schließt, um einen zweiten hydraulischen Druck zu steuern, der zum Betätigen des Kraftstoffsprühmechanismus dient. Wenn die elektrische Energie auf das piezoelektrische Betätigungsglied aufgebracht wird, bewirkt der Hydraulikventilmechanismus ein Öffnen der Niederdrucköffnung durch das Ventilelement, während die Hochdrucköffnung geschlossen wird. Wenn die elektrische Energie von dem pie-

zoelektrischen Betätigungsglied abgegeben wird, bewirkt der Hydraulikventilmechanismus ein Öffnen der Hochdrucköffnung, während die Niederdrucköffnung geschlossen wird. Der Hydraulikventilmechanismus ist so gestaltet, dass die auf das piezoelektrische Betätigungsglied aufzubringende elektrische Energie beim Öffnen der Niederdrucköffnung größer als oder gleich wie eine elektrische Energie ist, die zum Schließen der Hochdrucköffnung erforderlich ist. Das piezoelektrische Betätigungsglied kann durch ein magnetostriktives Betätigungsglied ersetzt werden, das so arbeitet, dass es schrumpft oder sich ausdehnt, wenn es in einem Magnetfeld angeordnet ist.

[0019] Die vorliegende Erfindung ist aus der nachstehend aufgeführten detaillierten Beschreibung und den beigelegten Zeichnungen der bevorzugten Ausführungsbeispiele der besser verständlich, wobei die spezifischen Ausführungsbeispiele die Erfindung nicht einschränken sollen sondern lediglich dem Zwecke der Erläuterung des Verständnisses dienen.

[0020] Fig. 1 zeigt eine vertikale Schnittansicht einer Kraftstoffeinspritzeinrichtung, die mit einem piezoelektrischen Betätigungsglied gemäss dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung ausgestattet ist.

[0021] Fig. 2(a) zeigt die Beziehungen zwischen einer Spannung, die sich über die Anschlüsse eines piezoelektrischen Stapels eines piezoelektrischen Betätigungsgliedes ergibt, und einer Abgabekraft, die durch das piezoelektrische Betätigungsglied erzeugt wird, wenn eine höhere und eine niedrigere konstante elektrische Energie auf das piezoelektrische Betätigungsglied aufgebracht wird.

[0022] Fig. 2(b) zeigt eine Beziehung zwischen einer elektrischen Energie, die auf das piezoelektrische Betätigungsglied aufgebracht werden kann, und einer Abgabekraft, die dadurch erzeugt wird, wenn eine konstante zulässige maximale Spannung an dem piezoelektrischen Betätigungsglied angelegt wird.

[0023] Fig. 2(c) zeigt eine Beziehung zwischen einer Abgabekraft und dem Grad der mechanischen Verdrehung oder Verschiebung eines Piezostapels eines piezoelektrischen Betätigungsgliedes, wenn eine an dem piezoelektrischen Betätigungsglied angelegte maximale zulässige Spannung konstant ist.

[0024] Fig. 2(d) zeigt eine Beziehung zwischen einem maximalen möglichen Hubbetrag eines Kugelventils zum Öffnen einer Ablauföffnung und einer Abgabekraft, die durch ein piezoelektrisches Betätigungsglied beim Öffnen der Ablauföffnung erzeugt wird.

[0025] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung einer Kraftstoffeinspritzeinrichtung gemäss dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0026] Fig. 4(a) zeigt eine Beziehung zwischen einer Abgabekraft und einer Verschiebung eines Piezostapels eines piezoelektrischen Betätigungsgliedes, wenn eine an dem piezoelektrischen Betätigungsglied angelegte maximale zulässige Spannung konstant ist.

[0027] Fig. 4(b) zeigt eine typische Beziehung zwischen einer maximalen Arbeit und einer Abgabekraft einer piezoelektrischen Vorrichtung, wenn diese einer maximalen Last ausgesetzt ist.

[0028] Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen, in denen gleiche Bezugszeichen sich auf gleiche Teile in verschiedenen Ansichten beziehen, ist insbesondere in Fig. 1 eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung 100 gemäss der vorliegenden Erfindung gezeigt. Die nachstehende Erörterung bezieht sich als ein Beispiel auf ein Common Rail-Kraftstoffeinspritzsystem, bei dem die Kraftstoffeinspritzeinrichtung 100 für jeden Zylinder eines Dieselmotors vorgesehen ist. Das Common Rail-Kraftstoffeinspritzsystem hat eine Common



Rail, in der von einem Kraftstoffbehälter mit einem höheren Druck durch eine an dem Motor eingebaute Kraftstoffpumpe gelieferter Kraftstoff gespeichert wird. Wenn es erforderlich ist, den Kraftstoff in den Motor einzuspritzen, wird der in der Common Rail gespeicherte Kraftstoff zu den Kraftstoffeinspritzeinrichtungen 100 unter hohem Druck geliefert.

[0029] Die Kraftstoffeinspritzeinrichtung 100 ist so gestaltet, dass eine Düsennadel 12 vertikal bewegt wird, um ein in dem Kopf eines Düsenkörpers B1 ausgebildetes Sprühloch 11 zu öffnen und zu schließen, um das Kraftstoffeinspritzen zu starten oder zu beenden. Der Düsenkörper B1 kann alternativ eine Vielzahl an Sprühlöchern haben, die in seinem Kopf ausgebildet sind. Das Sprühloch 11 wird bei der Bewegung der Düsennadel 12 zu einer Obergrenzposition geöffnet und steht mit einem Kraftstoffbecken 31 in Verbindung, der zu einem Hochdruckkanal 3 führt, so dass der Kraftstoff zu dem Sprühloch 11 geliefert wird. Das Sprühloch 11 wird bei einer Bewegung der Düsennadel 12 zu einer Untergrenzposition geschlossen, so dass die Verbindung mit dem Kraftstoffbecken 31 blockiert ist und die Kraftstofflieferung zu dem Sprühloch 11 unterbrochen ist. Die Untergrenzposition der Düsennadel 12 ist durch einen Düsensitz 13 definiert, auf den die Düsennadel 12 gesetzt wird. Die Obergrenzposition ist durch eine Blendenplatte P1 definiert, die oberhalb des Düsenkörpers B1 angeordnet ist.

[0030] Der Düsenkörper B1 ist an einem unteren Ende eines Gehäuses H eines Hydrauliksteuerventils 1 über Blendenplatten P1 und P2 eingebaut und innerhalb eines Düsenshalters B2 in flüssigkeitsdichter Form angeordnet. Der Hochdruckkanal 3 erstreckt sich von dem Kraftstoffbecken 31 zu der Common Rail durch die Blendenplatten P1 und P2 und das Gehäuse H nach oben. Innerhalb des Gehäuses H ist ein Ablaufkanal 2 ausgebildet, der zu dem Kraftstoffbehälter führt. Eine Steuerkammer 4 ist zwischen einem oberen Ende der Düsennadel 12 und der Blendenplatte P1 definiert. Die Düsennadel 12 wird nach unten unter Betrachtung in der Zeichnung durch den Federdruck einer Schraubenfeder 41 und den hydraulischen Druck innerhalb der Steuerkammer 4 gedrängt, um das Sprühloch 11 stets zu schließen.

[0031] Der hydraulische Druck in der Steuerkammer 4 wird durch die Aktivität eines 3-Wege-Ventils 5 gesteuert, das in dem Hydrauliksteuerventil 1 eingebaut ist. Das 3-Wege-Ventil 5 besteht aus einer konischen Ventilkammer 51, die an einem unteren Ende des Gehäuses H ausgebildet ist, und einem Kugelventil 52. Die Ventilkammer 51 steht stets mit der Steuerkammer 4 über einen Kanal, der sich durch die Blendenplatten P1 und P2 erstreckt, und einer Hauptblende 42 in Verbindung, die in dem Kanal ausgebildet ist. Die Ventilkammer 51 hat zwei Öffnungen: eine Ablauföffnung 21 und eine Hochdrucköffnung 32. Das Kugelventil 52 schließt entweder die Ablauföffnung 21 oder die Hochdrucköffnung 32 ständig, wodurch eine Fluidverbindung zwischen entweder der Ablauföffnung 21 oder der Hochdrucköffnung 32 und der Steuerkammer 4 errichtet wird. Die Ablauföffnung 21 steht mit dem Ablaufkanal 2 über eine Überlaufkammer 22 in Verbindung, die oberhalb der Ventilkammer 51 ausgebildet ist. Die Hochdrucköffnung 32 erstreckt sich vertikal durch die Blendenplatten P1 und P2 und steht mit dem Hochdruckkanal 3 über eine Nut 33 in Verbindung, die an einer unteren Endfläche der Blendenplatte P2 ausgebildet ist.

[0032] Genauer gesagt wird, wenn das Kugelventil 52 die Ablauföffnung 21 öffnet und die Hochdrucköffnung 32 schließt, dies eine Strömung des Kraftstoffs in der Steuerkammer 4 aus der Ablauföffnung 21 durch die Ventilkammer 51 bewirken, so dass der Druck innerhalb der Steuerkammer 4 abfällt. Wenn der Druck innerhalb der Steuer-

kammer 4 bis unterhalb einer vorgegebenen Düsennadelöffnungs höhe absinkt, wird dies eine Bewegung der Düsennadel 12 von dem Düsensitz 13 weg bewirken, wodurch das Kraftstoffeinspritzen gestartet wird. Alternativ wird, wenn das Kugelventil 52 die Ablauföffnung 51 schließt und die Hochdrucköffnung 32 öffnet, dies ein Erhöhen des Drucks in der Steuerkammer 4 durch den von der Hochdrucköffnung 32 strömenden Kraftstoff bewirken, wodurch die Düsennadel 12 nach unten in einen Eingriff mit dem Düsensitz 13 bewegt wird.

[0033] Die Steuerkammer 4 steht direkt mit dem Hochdruckkanal 3 stets über eine Nebenblende 43 in Verbindung, die in der Blendenplatte P1 ausgebildet ist. Die Nebenblende 43 dient dem Liefern des Kraftstoffs von dem Hochdruckkanal 3 zu der Steuerkammer 4, um den Druckabfall in der Steuerkammer 4 beim Start des Kraftstoffeinspritzens zu vermindern, damit die Bewegung der Düsennadel 12 gleichmäßig geschieht, während sie einen Druckanstieg in der Steuerkammer 4 unterstützt, um die Bewegung der Düsennadel 12 beim Schließen des Sprühlochs 11 zu beschleunigen.

[0034] Um eine Öffnung der zu der Ventilkammer 51 führenden Ablauföffnung 21 herum ist ein konischer Ablaufsitz 53 ausgebildet. Um die zu der Ventilkammer 51 führende Hochdrucköffnung 32 herum ist ein flacher Hochdrucksitz 54 ausgebildet. Der Ablaufsitz 53 kann alternativ so ausgebildet sein, dass er flach ist, während der Hochdrucksitz 54 konisch ausgebildet sein kann. Dies gleicht eine seitliche Verschiebung des Kugelventils 52 aus. Der Druck in der Steuerkammer 51 ist immer höher als der Druck in der Ablauföffnung 21, so dass das Kugelventil 52 an dem Ablaufsitz 53 sitzend gehalten wird. Der an dem Kugelventil 52 wirkende Druck, der dieses in einen Eingriff mit dem Hochdrucksitz 54 drängt, wird durch einen Kolben 18 mit kleinem Durchmesser des Hydrauliksteuerventils 1 vorgesehen.

[0035] Das Hydrauliksteuerventil 1 ist mit einem piezoelektrischen Betätigungsglied 14 als eine Antriebsquelle ausgerüstet. Die mechanische Verformung oder Verschiebung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 wird zu einem an einem unteren Ende des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 eingebauten Betätigungsgliedkolben 15 übertragen und dann zu dem Kolben 18 mit dem kleinen Durchmesser über einen Kolben 17 mit grossem Durchmesser und eine Verschiebungsverstärkungskammer 6 übertragen. Das piezoelektrische Betätigungsglied 14 ist aus einem Laminat aus Lagen aus Blei, Zirkonium und Titan (PZT) ausgebildet (das auch als Piezostapel bezeichnet ist), und es arbeitet derart, dass es sich bei elektrischer Aufladung ausdehnt und bei Entladung zusammenzieht. Der Aufbau der piezoelektrischen Vorrichtung ist im Stand der Technik gut bekannt und die detaillierte Erläuterung des Aufbaus unterbleibt hierbei. Der Betätigungsgliedkolben 15 ist gleitfähig innerhalb eines Betätigungsgliedzylinders H1 angeordnet und ist mit dem Kolben 17 mit dem großen Durchmesser über eine Stange 16 verbunden. Der Kolben 17 mit dem großen Durchmesser und der Kolben 18 mit dem kleinen Durchmesser sind innerhalb einer mit einem großen Durchmesser versehenen zylindrischen Kammer H3 und einer mit einem kleinen Durchmesser versehenen zylindrischen Kammer H4 gleitfähig angeordnet, die koaxial innerhalb eines Hohlzylinders H2 ausgebildet sind. Die Stange 16 erstreckt sich von einer oberen Endfläche des Kolbens 17 mit dem großen Durchmesser nach oben und sitzt innerhalb einer unteren Endfläche des Betätigungsgliedkolbens 15.

[0036] Unterhalb des unteren Endes des Betätigungsgliedkolbens 15 um die Stange 16 herum ist ein Ölbecken 7 definiert, das zu dem Ablaufkanal 2 führt. Eine Schraubenfeder 71 ist innerhalb des Ölbeckens 7 angeordnet, um den Betäti-

gungsgliedkolben 15 zusammen mit dem Kolben 17 mit dem großen Durchmesser nach oben zu drängen. Genauer gesagt werden der Betätigungsgliedkolben 15 und der Kolben 17 mit dem großen Durchmesser durch die Feder 71 nach oben gedrängt, so dass sie sich auf das Ausdehnen oder Zusammenziehen des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 hin folgend bewegen können. Ein O-Ring 73 ist in einer ringartigen Nut eingebaut, die an einer Seitenwand des Betätigungsgliedkolbens 15 ausgebildet ist, um das piezoelektrische Betätigungsglied 14 vor einer Verschmutzung durch Arbeitsfluid (d. h. des Kraftstoffes) innerhalb des Ölbeckens 7 zu schützen. Das Ölbecken 7 steht mit dem Ablaufkanal 2 über einen Kanal 95 in Verbindung. Der Kanal 95 ist ausgebildet, indem die Seitenwände des Gehäuses H und des Betätigungsgliedzylinders H1 durchbohrt worden sind und ein in dem Gehäuse H ausgebildetes Loch unter Verwendung eines Pfropfens 74 geschlossen worden ist.

[0037] An dem Hohlzylinder H2 ist an einer Innenwand zwischen der Zylinderkammer H4 mit dem kleinen Durchmesser und der Zylinderkammer H3 mit dem großen Durchmesser ein Innenabsatz ausgebildet, der als ein Anschlag 61 wirkt und einen oberen Grenzwert des Kolbens 18 mit dem kleinen Durchmesser definiert. Die Zylinderkammer H4 mit dem kleinen Durchmesser und die Zylinderkammer H3 mit dem großen Durchmesser stehen miteinander über ein in dem Anschlag 61 ausgebildetes mittleres Loch in Verbindung. Die Zylinderkammer H4 mit dem kleinen Durchmesser definiert eine Hydraulikkammer A zwischen ihrem oberen Ende und dem Anschlag 61. Die Zylinderkammer H3 mit dem großen Durchmesser definiert eine Hydraulikkammer B zwischen ihrem unteren Ende und dem Anschlag 61. Die Hydraulikkammern A und B definieren die Verschiebungsverstärkungskammer 6. Die Verschiebungsverstärkungskammer 6 bewirkt ein Übertragen der Längsverschiebung des Kolbens 17 mit dem großen Durchmesser zu dem Kolben 18 mit dem kleinen Durchmesser. Genauer gesagt wird der Hub des Kolbens 17 mit dem großen Durchmesser (d. h. die vertikale Bewegung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14) über den Kraftstoff innerhalb der Verschiebungsverstärkungskammer 6 als eine Funktion einer Durchmesserdifferenz zwischen dem Kolben 17 mit dem großen Durchmesser und dem Kolben 18 mit dem kleinen Durchmesser verstärkt (d. h. zwei oder dreimal die Verschiebung des Kolbens 17 mit dem großen Durchmesser) und zu dem Kolben 18 mit dem kleinen Durchmesser übertragen. Ein unterer Abschnitt des Kolbens 18 mit dem kleinen Durchmesser liegt innerhalb der Überlaufkammer 22. Der Kolben 18 mit dem kleinen Durchmesser hat einen dünnen Kopf, der sich in die Ablauföffnung 21 hinein erstreckt und mit dem Kugelventil 52 in Kontakt steht.

[0038] Innerhalb des Kolbens 18 mit dem großen Durchmesser erstreckt sich ein vertikaler Kanal 72 und steht an seinem oberen Ende mit einem Seitenkanal in Verbindung, der zu dem Ölbecken 7 offen ist. Der vertikale Kanal 72 erstreckt sich an seinem unteren Ende zu dem unteren Ende des Kolbens 17 mit dem großen Durchmesser und steht mit der Verschiebungsverstärkungskammer 6 über ein Rückschlagventil 8 in Verbindung, das an dem unteren Ende des Kolbens 17 mit dem großen Durchmesser eingebaut ist. Das Rückschlagventil 8 bewirkt einen Ausgleich für einen Kraftstoffverlust, der durch eine Leckage von dem Ölbecken 7 zu der Verschiebungsverstärkungskammer 6 bewirkt wird, und besteht aus einem flachen Ventil 81, das die untere Öffnung des Kanals 72 schließt, und einer konischen Feder 82, die das flache Ventil 81 nach oben drängt. Das flache Ventil 81 und die konische Feder 82 sind innerhalb eines Halters 83 angeordnet, der aus einem becherförmigen Zylinder hergestellt ist. Der Halter 83 sitzt an einem unteren Endabschnitt

des Kolbens 18 mit dem großen Durchmesser. An dem Boden des Halters 83 ist ein Loch 85 ausgebildet, das viel größer als das Nadelloch 84 ist und eine Verbindung zwischen einer Innenkammer des Halters 83 und der Verschiebungsverstärkungskammer 6 errichtet, um die Kraftstoffströmung in die Verschiebungsverstärkungskammer 6 zu erleichtern.

[0039] Das flache Ventil 81 ist aus einer dünnen Scheibe hergestellt, die eine Dicke von 0,1 bis 0,2 mm und parallele Seiten 86 hat. Ein Nadelloch 84 ist in der Mitte des flachen Ventils 81 ausgebildet und hat einen Durchmesser von 0,02 bis 0,5 mm. Das Nadelloch 84 dient dazu, dass die Leckage des innerhalb der Verschiebungsverstärkungskammer 6 befindlichen Kraftstoffes zu dem Ölbecken 7 in dem Fall irgendeines Fehlverhaltens eines Kraftstoffeinspritzsystems während des Kraftstoffeinspritzens ermöglicht ist, wodurch die Kraftstoffeinspritzung angehalten wird. Das Nadelloch 84 bewirkt ausserdem ein Erleichtern des Saugens eines Unterdrucks in der Verschiebungsverstärkungskammer 6 für ein Einspritzen des Kraftstoffes in diese ohne irgendwelche Blasen nach dem Zusammenbau der Kraftstoffeinspritzeinrichtung 100.

[0040] Wenn es beim Betrieb der Kraftstoffeinspritzeinrichtung 100 erforderlich ist, die Kraftstoffeinspritzung zu starten, wird eine Spannung von ungefähr 100 bis 150 V, die zum Öffnen der Ablauföffnung 21 erforderlich ist, an dem piezoelektrischen Betätigungsglied 14 angelegt. Das piezoelektrische Betätigungsglied 14 dehnt sich beispielsweise 40 µm proportional zu der angelegten Spannung aus, um den Kolben 17 mit dem großen Durchmesser nach unten zu bewegen, wodurch der Druck in der Verschiebungsverstärkungskammer 6 erhöht wird. Die Druckerhöhung in der Verschiebungsverstärkungskammer 6 bewirkt eine Bewegung des Kolbens 18 mit dem kleinen Durchmesser nach unten, um das Kugelventil 52 aus dem Eingriff mit dem Ablaufsitz 73 herauszudrücken. Das Kugelventil 52 ruht dann an dem Hochdrucksitz 54. Das Maß der Bewegung des Kugelventils 52 ist ein Vielfaches (nachstehend auch als Verstärkungsfaktor bezeichnet) des Maßes der Ausdehnung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14, das dem Querschnittsflächenverhältnis des Kolbens 17 mit dem großen Durchmesser gegenüber dem Kolben 18 mit dem kleinen Durchmesser entspricht. Ein optimaler Bereich des Verstärkungsfaktors ist nachstehend detailliert beschrieben.

[0041] Wenn das Kugelventil 52 sich aus dem Eingriff mit dem Ablaufsitz herausbewegt, errichtet es eine Verbindung zwischen der Ventilkammer 51 und der Ablauföffnung 21, während es eine Verbindung zwischen der Hochdrucköffnung 32 und der Ventilkammer 51 blockiert, so dass der Druck in der Ventilkammer 51 abfällt, wodurch der Druck in der Steuerkammer 4 abnimmt. Wenn der Druck in dem Kraftstoffbecken 31 die Summe des Druckes in der Steuerkammer 4 und des durch die Schraubenfeder 41 erzeugten Druckes überschreitet, wird bewirkt, dass die Düsenadel 12 nach oben angehoben wird, um das Sprühloch 11 zu öffnen, wodurch die Kraftstoffeinspritzung gestartet wird.

[0042] Wenn es erforderlich ist, die Kraftstoffeinspritzung zu beenden, wird das piezoelektrische Betätigungsglied 14 elektrisch entladen. Dadurch wird ein Zusammenziehen des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 auf seine ursprüngliche Länge bewirkt, wodurch ein Anheben des Betätigungsgliedkolbens 15 durch die Feder 71 bewirkt wird. Der Kolben 17 mit dem großen Durchmesser wird ebenfalls angehoben, womit sich eine Druckabnahme in der Verschiebungsverstärkungskammer 6 ergibt. Der Druckabfall in der Verschiebungsverstärkungskammer 6 bewirkt eine nach oben gerichtete Bewegung des Kolbens 18 mit dem kleinen Durchmesser zusammen mit dem Kugelventil 52.

[0043] Wenn das Kugelventil 52 erneut an dem Ablaufsitz

53 ruht, errichtet es eine Verbindung zwischen der Ventilkammer 51 und der Hochdrucköffnung 32, während die Verbindung zwischen der Ventilkammer 51 und der Ablauföffnung blockiert wird, so dass der Druck in der Ventilkammer 51 und in der Steuerkammer 4 auf die ursprüngliche Höhe zurückkehrt. Wenn der Druck in der Steuerkammer 4 zunimmt und der die Düsenadel 12 nach unten drängende Druck den Druck in dem Kraftstoffbecken 31 überschreitet, wird eine nach unten gerichtete Bewegung der Düsenadel 12 bewirkt, so dass diese an dem Düsensitz 13 erneut ruht, um das Sprühloch 11 zu schließen, wodurch die Kraftstoffspritzung beendet wird.

[0044] Der Verstärkungsfaktor (d. h. ein Druckanregungsflächenverhältnis von dem Kolben 17 mit dem großen Durchmesser gegenüber dem Kolben 18 mit dem kleinen Durchmesser) in der Verschiebungsverstärkungskammer 6 ist so gewählt, dass eine Antriebskraft oder Abgabekraft  $F$ , die für das piezoelektrische Betätigungsglied 14 zum Bewegen des Kugelventils 51 zum Öffnen der Ablauföffnung 21 erforderlich ist, geringer als die Hälfte der maximal möglichen Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 ist, wenn an diesem eine maximale Arbeitsspannung angelegt ist. Der Verstärkungsfaktor ist vorzugsweise so bestimmt, dass die Abgabekraft  $F$ , wenn sie zum Öffnen der Ablauföffnung 21 erzeugt wird, größer als oder gleich wie ein Viertel der maximal möglichen Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 bei Anlegen der maximalen Arbeitsspannung ist und geringer als die Hälfte davon ist. Die maximale Arbeitsspannung ist ein oberer Grenzwert einer zulässigen Spannung, die sicher an dem piezoelektrischen Betätigungsglied 14 angelegt werden kann, ohne die Möglichkeit einer Beschädigung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 und einer elektrischen Schaltung oder eines Betätigungsgliedtreibers zu riskieren. Die zum Öffnen der Ablauföffnung 21 erforderliche Abgabekraft  $F$  wird durch die nachstehend aufgeführte Gleichung ausgedrückt:

$$F = S_L \cdot P \cdot (S/s)$$

wobei  $S_L$  eine Sitzfläche ( $\text{mm}^2$ ) des Ablaufsitzes 53 ist (d. h. eine Fläche einer Ebene, die durch eine ringartige Linie definiert ist, die eine Kontaktlinie zwischen dem Kugelventil 52 und dem Ablaufsitz 53 ist),  $P$  der Druck in dem Hochdruckkanal 3 ist (= Common Rail-Druck in  $\text{kg/mm}^2$ ),  $S$  die Druckanregungsfläche (d. h. eine Querschnittsfläche in  $\text{mm}^2$ ) des Kolbens 17 mit dem großen Durchmesser ist,  $s$  eine Druckanregungsfläche (d. h. eine Querschnittsfläche in  $\text{mm}^2$ ) des Kolbens 18 mit dem kleinen Durchmesser ist und  $S/s$  den Verstärkungsfaktor bezeichnet.

[0045] Genauer gesagt ist die Abgabekraft  $F$ , die beim Öffnen der Ablauföffnung 21 erzeugt wird, proportional dem Verstärkungsfaktor ( $S/s$ ) und kann somit innerhalb des vorstehend erwähnten Bereiches eingestellt werden, indem der Verstärkungsfaktor auf einen speziellen Wert eingestellt wird, bei dem  $S_L$  und  $P$  Konstanten sind. Dadurch wird eine effektive Umwandlung der auf das piezoelektrische Betätigungsglied 14 aufgetragenen elektrischen Energie innerhalb eines zulässigen Spannungsbereiches, wobei keine Beschädigung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 und des Betätigungsgliedtreibers bewirkt wird, in einen Hub des Kugelventils 52 verwirklicht. Dies ist nachstehend detaillierter beschrieben.

[0046] Das Aufbringen der elektrischen Energie auf das piezoelektrische Betätigungsglied 14 führt zu einer mechanischen Verdrehung oder Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14, wodurch der Kolben 17 mit dem großen Durchmesser so bewegt wird, dass der Druck in der Druckverstärkungskammer 6 erhöht wird. Wenn der Druck

in der Druckverstärkungskammer 6 eine Beziehung von  $p \cdot s = S_L \cdot P$  erfüllt, wobei  $p$  der Druck in der Druckverstärkungskammer 6 ist, wird ein Hub (d. h. eine nach unten gerichtete Bewegung unter Betrachtung von Fig. 1) des Kugelventils 52 gestartet. Wenn die auf das piezoelektrische Betätigungsglied 14 aufgetragene elektrische Energie konstant ist, wie dies in Fig. 2(a) gezeigt ist, erhöht sich eine Anschlussspannung (d. h. eine Piezospannung  $V$ ), die über die Anschlüsse des Piezostapels des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 auftritt, außerordentlich mit einer Zunahme der Abgabekraft. Dies ist so, weil zu der Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 proportionale elektrische Ladungen in dem Piezostapel des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 durch eine an diesem wirkende Reaktionskraft erzeugt werden und zu denen von dem Betätigungsgliedtreiber aufgetragene elektrische Ladungen hinzuaddiert werden.

[0047] Daher wird eine Abnahme der Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 zu einer Abnahme der Piezospannung  $V$  bei konstant gehaltener aufgetragener elektrischer Energie  $E$  bei einem Fall führen, bei dem die auf das piezoelektrische Betätigungsglied 14 aufgetragene elektrische Energie  $E$  so gesteuert wird, dass die Piezospannung  $V$ , die sich dann ergibt, wenn das Hydrauliksteuerventil 1 geöffnet wird, d. h. wenn eine an dem Kugelventil 51 in einer Richtung zum Schließen der Ablauföffnung 21 wirkende Hydrauliklast maximal ist, der maximal zulässigen Spannung gleich sein kann. Genauer gesagt wird, wenn das Kugelventil 52 von dem Ablaufsitz 53 weggehoben wird, so dass der hydraulische Druck innerhalb der Ventilkammer 51 abfällt, dies bewirken, dass der an dem piezoelektrischen Betätigungsglied 14 wirkende hydraulische Druck abnimmt, womit sich eine Abnahme der Abgabekraft ergibt, die dazu erforderlich ist, dass das piezoelektrische Betätigungsglied 14 den Hub des Kugelventils 52 hält, was ein Abfallen der Piezospannung  $V$  bewirkt. Umgekehrt wird in einem Fall, bei dem die maximal zulässige Spannung vorbestimmt ist, das Zunehmen der Abgabekraft der piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14, die beim Öffnen der Ablauföffnung 21 erzeugt wird, bewirken, dass die elektrische Energie  $E$  abnimmt, die an dem piezoelektrischen Betätigungsglied 14 aufgebracht werden kann. Dies ist in Fig. 2(b) gezeigt.

[0048] Fig. 2(c) zeigt eine Beziehung zwischen der Abgabekraft und dem Maß der mechanischen Verdrehung oder Verschiebung  $\delta$  (die nachstehend als Piezoverschiebung bezeichnet ist) des Piezostapels des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14, wenn die an dem piezoelektrischen Betätigungsglied 14 angelegte Spannung (d. h. die maximal zulässige Spannung) konstant ist. Die graphische Darstellung zeigt, dass bei der Abnahme der Abgabekraft die Piezoverschiebung  $\delta$  zunimmt, was zu einer proportionalen Zunahme des Hubs des Kugelventils 52 führen würde. Bei der Beziehung von Fig. 2(c) ist der Umstand, dass die Piezospannung  $V$  abfällt, nachdem das Kugelventil 52 von dem Ablaufsitz 53 angehoben worden ist, wodurch der an dem piezoelektrischen Betätigungsglied 14 wirkende Druck in der Ventilkammer 51 abfällt, nicht berücksichtigt. Wenn daher der Verstärkungsfaktor ( $S/s$ ) so gewählt ist, dass die Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 für einen Ausgleich des Abfalls der Piezospannung  $V$  zunimmt, wenn das Kugelventil 52 angehoben wird oder die Ablauföffnung 21 geöffnet wird, wird dies daher bewirken, dass die zulässige aufgetragene Energie abnimmt, so dass die Piezospannung  $V$  durch einen Abfall der Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 nach dem Anheben des Kugelventils 52 abnimmt. Wenn beispielsweise bei einem Fall einer in Fig. 2(a) gezeigten niedrigeren aufgetragenen Energie die beim Öffnen der Ablauföffnung 53 erzeugte Abgabe-

kraft  $F$  hoch ist, d. h. wenn der Verstärkungsfaktor ( $S/s$ ) hoch ist, wird dies bewirken, dass die tatsächlich auf das piezoelektrische Betätigungsglied 14 aufgebrachte Energie niedrig ist. Es ist somit möglich, das Kugelventil 52 zum Öffnen der Ablauföffnung 53 aufzuheben, aber es wird jedoch der Hubbetrag nach dem Öffnen der Ablauföffnung 53 gering, was zu der Möglichkeit führt, dass das Kugelventil 52 nicht an der Hochdrucköffnung 32 ruht.

[0049] Umgekehrt wird eine Abnahme des Verstärkungsfaktors ( $S/s$ ) zum Vermindern der Abgabekraft  $F$ , die beim Öffnen der Ablauföffnung 21 erzeugt wird, eine Abnahme der Verschiebung des Kolbens 18 mit dem kleinen Durchmesser im Vergleich zu einer Verschiebung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 (d. h. des Kolbens 17 mit dem großen Durchmesser) bewirken, was außerdem zu einer Schwierigkeit bei der Zunahme des Hubbetrags des Kugelventils 52 führt. Der Betrag  $L$  des Hubs des Kugelventils 52 ist durch eine Beziehung

$$L = \delta \cdot (S/s) = \delta \cdot F/(S_L \cdot P)$$

ausgedrückt, wobei  $\delta$  die Verschiebung des Piezostapels des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 ist. Somit ändert sich ein maximal möglicher Hubbetrag des Kugelventils 52, wie dies in Fig. 2(d) gezeigt ist, mit einer Änderung der Abgabekraft  $F$ , die beim Bewegen des Kugelventils 52 erzeugt wird, um die Ablauföffnung 21 zu öffnen. Die Kurve in Fig. 2(d) hat eine Spitze, wenn die Abgabekraft  $F$ , die beim Bewegen des Kugelventils 52 zum Öffnen der Ablauföffnung 21 erzeugt wird, in der Nähe von drei Achteln ( $3/8$ ) der maximal möglichen Abgabekraft liegt (d. h. eine Abgabekraft, die unter Anlegung der maximal zulässigen Spannung erzeugt wird, wenn die Verschiebung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 auf 0 beschränkt ist), und zeigt, dass die Abgabekraft  $F$  vorzugsweise größer als oder gleich wie ein Viertel der maximal möglichen Abgabekraft ist und niedriger als die Hälfte von dieser, um den maximal möglichen Hub des Kugelventils 52 zu erhöhen.

[0050] Beispielsweise beträgt die maximal mögliche Abgabekraft 200 kg in einem Fall, bei dem die Verschiebung  $\delta$  des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14 0,44 mm beträgt, wenn seine Abgabekraft 0 kg ist und wenn die Abgabekraft bei einer auf Null (0) beschränkten Verschiebung  $\delta$  200 kg beträgt. Es ist somit ratsam, dass die Abgabekraft  $F$  des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14, die zum Bewegen des Kugelventils 52 zum Öffnen der Ablauföffnung 21 erforderlich ist, innerhalb eines Bereiches von 50 kg (d. h. ein Viertel von 200 kg) bis 100 kg (d. h. die Hälfte von 200 kg) liegt. Wenn der Sitzbereich  $S_L$  des Ablaufsitzes 53 2,14 mm beträgt und der Druck  $P$  des Hochdruckkanals 3 (d. h. der Druck in der Common Rail) 20 kg/mm<sup>2</sup> beträgt, kann die Beziehung zwischen dem optimalen Bereich der Abgabekraft  $F$  und dem Verstärkungsfaktor ( $S/s$ ) aus der Beziehung

$$F = S_L \cdot P \cdot (S/s)$$

ausgedrückt werden:

$$50 \text{ kg} \leq 42,8 (S/s) \text{ kg} < 100 \text{ kg}$$

[0051] Dies kann wie folgt umgeschrieben werden:

$$50/42,8 \leq (S/s) < 100/42,8$$

[0052] Somit beträgt der optimale Bereich des Verstärkungsfaktors ( $S/s$ )  $1,17 \leq (S/s) < 2,3$

[0053] Wenn der Verstärkungsfaktor ( $S/s$ ) 1,8 beträgt,

d. h. der mittlere Wert des vorstehend beschriebenen Bereiches, beträgt die Abgabekraft  $F$  75 kg, die dann erzeugt wird, wenn das Kugelventil 52 zum Öffnen der Ablauföffnung 21 bewegt wird. Aus der Kurve in Fig. 2(h) ist die elektrische Energie, die auf das piezoelektrische Betätigungsglied 14 bei 150 V aufgebracht werden kann, 2,7-mal so hoch wie jene, die zum Öffnen der Ablauföffnung 21 erforderlich ist, wodurch eine effektive Übertragung der aufgebrachten elektrischen Energie in einen Hub des Kugelventils 52 erzielt wird, wie dies in Fig. 2(d) gezeigt ist. Wenn die Kraftstoffeinspritzeinrichtung 100 so gestaltet ist, dass das Kugelventil 52 an dem Hochdrucksitz 54 ruht, bevor ein Hub des Kugelventils 52 einen maximal möglichen Hub erreicht, der durch das piezoelektrische Betätigungsglied 14 vorgesehen ist, wird eine übermäßige Energie beim Sichern eines festen Sitzes zwischen dem Kugelventil 52 und dem Hochdrucksitz 54 verbraucht.

[0054] Ein zweites Ausführungsbeispiel der Kraftstoffeinspritzeinrichtung 100 ist nachstehend beschrieben, wobei diese so gestaltet ist, dass ein fester Sitz zwischen dem Kugelventil 52 und dem Hochdrucksitz 54 gestaltet ist.

[0055] Die Kraftstoffeinspritzeinrichtung 100 von diesem Ausführungsbeispiel ist so gestaltet, dass die elektrische Energie  $E$ , die für das piezoelektrische Betätigungsglied 14 zum Bewegen des Kugelventils 52 zum Öffnen der Ablauföffnung 21 erforderlich ist, größer als oder gleich wie die elektrische Energie  $E'$  ist, die für das piezoelektrische Betätigungsglied 14 erforderlich ist, um das Kugelventil 52 mit dem Hochdrucksitz 54 in Kontakt zu bringen, um die Hochdrucköffnung 32 zu schließen, wodurch ein Blockieren der Fluidverbindung zwischen der Ventilkammer 51 und der Hochdrucköffnung 32 gesichert wird, wenn die Ablauföffnung 21 zum Starten der Kraftstoffeinspritzung geöffnet ist.

[0056] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung der Kraftstoffeinspritzeinrichtung 100 des zweiten Ausführungsbeispiels. In dieser Darstellung ist  $S_L$  eine Sitzfläche oder ein Sitzbereich (mm<sup>2</sup>) des Ablaufsitzes 53, d. h. eine Fläche einer Ebene, wie dies vorstehend erörtert ist, die durch eine ringartige Linie definiert ist, die eine Kontaktlinie zwischen dem Kugelventil 52 und dem Ablaufsitz 53 ist, ist  $S_H$  eine Sitzfläche (mm<sup>2</sup>) des Hochdrucksitzes 54, ist  $d_H$  der Durchmesser (mm) des Hochdrucksitzes 54, ist  $V$  das Volumen (mm<sup>3</sup>) der Verschiebungsverstärkungskammer 6, ist  $p$  der Arbeitsdruck (kg/mm<sup>2</sup>) in der Verschiebungsverstärkungskammer 6 bei offener Ablauföffnung 21, ist  $p'$  der Arbeitsdruck (kg/mm<sup>2</sup>) in der Verschiebungsverstärkungskammer 6 bei geschlossener Hochdrucköffnung 32, ist  $\gamma$  das Kompressionsmodul (kg/mm<sup>2</sup>) des Arbeitsfluids (d. h. des Kraftstoffes) in der Verschiebungsverstärkungskammer 6, ist  $s$  die Druckerregungsfläche (mm<sup>2</sup>) des Kolbens 18 mit dem kleinen Durchmesser, ist  $d_s$  der Durchmesser (mm) des Kolbens 18 mit dem kleinen Durchmesser, ist  $S$  die Druckerregungsfläche (mm<sup>2</sup>) des Kolbens 17 mit dem großen Durchmesser, ist  $L$  der Hub oder Abstand (mm), den das Kugelventil 52 von dem Ablaufsitz 53 zu dem Hochdrucksitz 54 zurücklegt, ist  $P$  der Druck (kg/mm<sup>2</sup>) in dem Hochdruckkanal 3 (= Druck in der Common Rail) und ist  $\delta$  der Betrag der mechanischen Verdrehung oder Verschiebung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes 14. Die Kraft  $F_p$ , die zum Bewegen des Kugelventils 52 zum Öffnen der Ablauföffnung 21 erforderlich ist, wird wie folgt ausgedrückt:

$$F_p = S_L \cdot P = s \cdot p = s \cdot \gamma \cdot (S \cdot \delta / V) \quad (1)$$

[0057] Die für das piezoelektrische Betätigungsglied 14 beim Öffnen der Ablauföffnung 21 erforderliche Energie  $E$  beträgt

$$E = \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot S \cdot p$$

$$= \frac{1}{2} \cdot (V \cdot S_L \cdot P/s \cdot \gamma \cdot S) \cdot S \cdot (S_L \cdot P/s)$$

$$= \frac{1}{2} \cdot (S_L \cdot P/s)^2 \cdot V/\gamma \quad (2)$$

[0058] Die Kraft  $F_p'$ , die zum Schließen der Hochdrucköffnung 32 erforderlich ist, wird wie folgt angegeben:

$$F_p' = S_H \cdot P = s \cdot p' = s \cdot \gamma \cdot (S \cdot \delta'/V) \quad (3)$$

[0059] Die für das piezoelektrische Betätigungsglied 14 erforderliche Energie  $E'$  zum Schließen der Hochdrucköffnung 32 beträgt

$$E' = p' \cdot s \cdot L + \frac{1}{2} \cdot \delta' \cdot S \cdot p'$$

$$= S_H \cdot P \cdot L + \frac{1}{2} \cdot (S_H \cdot P/s)^2 \cdot V/\gamma \quad (4)$$

wobei  $S_H \cdot P \cdot L$  die Arbeit des Kugelventils 52 bezeichnet und  $\frac{1}{2} \cdot (S_H \cdot P/s)^2 \cdot V/\gamma$  die Arbeit des Druckanstiegs bezeichnet. Aus den Gleichungen (1) bis (4) kann die Beziehung zwischen  $S_L$ ,  $S_H$ ,  $V$ ,  $s$  und  $L$ , die erforderlich ist, um  $E' \leq E$  zu erfüllen, wie folgt ausgedrückt werden:

$$S_H \cdot P \cdot L + \frac{1}{2} \cdot (S_H \cdot P/s)^2 \cdot V/\gamma \leq \frac{1}{2} \cdot (S_L \cdot P/s)^2 \cdot V/\gamma \quad (5)$$

[0060] Es wurde somit herausgefunden, dass durch ein Bestimmen der Werte  $S_L$ ,  $S_H$ ,  $V$ ,  $s$  und  $L$  zum Erfüllen der Gleichung (5) die Energie  $E$ , die zum Öffnen der Ablauföffnung 21 erforderlich ist, größer als die Energie  $E'$  wird, die zum Schließen der Hochdrucköffnung 32 erforderlich ist, wodurch ein vollständiges Schließen der Hochdrucköffnung 32 sichergestellt ist.

[0061] Wenn der Sitzbereich  $d_{H1}$  des Hochdrucksitzes 54 gleich 0,5 mm beträgt, der Common Rail-Druck  $P = 2000 \text{ kg/cm}^2 = 20 \text{ kg/mm}^2$  beträgt, der Hub  $L$  des Kugelventils 52 = 0,03 mm beträgt, der Durchmesser  $d_s$  des Kolbens 18 mit dem kleinen Durchmesser = 5 mm beträgt, das Volumen  $V$  der Verschiebungsverstärkungskammer 6 = 5 mm<sup>3</sup> beträgt und der Kompressionsmodul  $\gamma = 100 \text{ kg/mm}^2$  beträgt, werden die Sitzfläche  $S_L$  des Hochdrucksitzes 54 und die Druckanregungsfläche  $s$  des Kolbens 18 mit dem kleinen Durchmesser wie folgt angegeben:

$$S_L = \pi/4 \cdot d_H^2 = \pi \times (0,5)^2/4 = 0,196 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$s = \pi/4 \cdot d_s^2 = \pi \times 5^2/4 = 19,6 \text{ (mm}^2\text{)}$$

[0062] Durch Einsetzen dieser Werte in die Gleichung (5) wird erhalten:

$$0,196 \times 20 \times 0,03 + \frac{1}{2} \times (0,196 \times 20/19,6)^2 \times 100/5 \leq \frac{1}{2} \times (S_L \times 20/19,6)^2 \times 100/5$$

[0063] Somit betragen  $S_L$  und  $S$ :

$$0,118 \times 0,001 \leq 0,026 \times S_L^2$$

$$S_L \geq \sqrt{(0,118/0,026)} = 2,14 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$d_L \geq \sqrt{(4 \times 2,14/\pi)} = 1,65 \text{ (mm}^2\text{)}$$

[0064] Demgemäß ist Gleichung (5) erfüllt, indem der Durchmesser  $d_L$  des Ablaufsitzes 53 auf 1,65 mm<sup>2</sup> oder mehr eingestellt wird. Durch ein derartiges Anlegen der Spannung an dem piezoelektrischen Betätigungsglied 14, dass die elektrische Energie diesem erteilt wird, die größer als oder gleich wie der Energie  $E$  ist, die zum Öffnen der Ablauföffnung 21 erforderlich ist, wird die Hochdrucköff-

nung 32 durch das Kugelventil 52 immer dann vollständig geschlossen, wenn die Ablauföffnung 21 geöffnet wird, wodurch ein fester Sitz zwischen der Hochdrucköffnung 32 und dem Kugelventil 52 errichtet wird, wodurch die Steuergenauigkeit der in den Motor einzuspritzenden Kraftstoffmenge verbessert wird.

[0065] Das piezoelektrische Betätigungsglied 14 von diesem Ausführungsbeispiel ist aus einem piezoelektrischem Material hergestellt, jedoch kann es durch eine andere Art an Betätigungsglied ersetzt werden, das mit einem verformbaren Element ausgerüstet ist, das aus einem Material hergestellt ist, dessen Eigenschaften eine mechanische Verdrehung oder Verformung unter Aufbringung von elektrischer Energie erzeugt.

[0066] Beispielsweise kann eine magnetostruktive Vorrichtung angewendet werden, die dann schrumpft oder sich ausdehnt, wenn sie in ein Magnetfeld gesetzt wird.

[0067] Während die vorliegende Erfindung im Hinblick auf die bevorzugten Ausführungsbeispiele offenbart ist, um das Verständnis der vorliegenden Erfindung zu erleichtern, sollte offensichtlich sein, dass die Erfindung in verschiedener Weise ohne Abweichung von dem Erfindungsprinzip ausgeführt werden kann. Daher sollte die Erfindung so aufgefasst werden, dass sie sämtliche mögliche Ausführungsbeispiele und Abwandlungen von den gezeigten Ausführungsbeispielen umfasst, die ohne Abweichen von dem Erfindungsprinzip ausgeführt werden können, das in den beigefügten Ansprüchen aufgeführt ist. Beispielsweise wird das 3-Wege-Ventil 5 zum Öffnen und Schließen des Sprühlochs 11 verwendet, das in dem Kopf des Düsenkörpers B1 ausgebildet ist, jedoch ist die Erfindung nicht darauf beschränkt. Ein anderer bekannter Mechanismus, wie beispielsweise ein 2-Wege-Ventil, kann zum Öffnen und Schließen des Sprühlochs 11 verwendet werden.

[0068] Der verbesserte Aufbau des Hydrauliksteuerventils ist vorgesehen, der bei einer Kraftstoffeinspritzeinrichtung für einen Motor eines Kraftfahrzeugs angewendet werden kann. Das Hydrauliksteuerventil hat ein piezoelektrisches Betätigungsglied und einen Hydraulikventilmechanismus. Der Hydraulikventilmechanismus bewirkt ein Umwandeln einer mechanischen Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes, die als ein Ergebnis des Anlegens einer Spannung erzeugt wird, in einen hydraulischen Druck, um ein Ventilelement zum wahlweisen Öffnen und Schließen einer Fluidöffnung hydraulisch zu bewegen. Der Hydraulikventilmechanismus ist so gestaltet, dass das piezoelektrische Betätigungsglied eine maximale Abgabekraft erzeugt, die ein Wirksamwerden des hydraulischen Drucks beim Öffnen der Fluidöffnung des Ventilelements bewirkt und abnimmt, nachdem die Fluidöffnung geöffnet ist, und die kleiner als die Hälfte einer maximal möglichen Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes bei Anlegen einer maximalen Arbeitsspannung an dem piezoelektrischen Betätigungsglied eingestellt ist, wodurch eine maximale Bewegung des Ventilelements bei hoher Energieeffizienz bei Anlegen einer Spannung innerhalb eines Arbeitsspannungsbereiches sichergestellt ist.

#### Patentansprüche

##### 1. Hydrauliksteuerventil mit:

einem piezoelektrischen Betätigungsglied, das ein verformbares Element hat, das aus einem Material hergestellt ist, das eine mechanische Verformung bei Anlegen einer Spannung erzeugt; und  
einem Hydraulikventilmechanismus, der ein Umwandeln der Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes in einen hydraulischen Druck bewirkt,



um ein Ventilelement hydraulisch zum wahlweisen Öffnen und Schließen einer Fluidöffnung zu bewegen, wobei der Hydraulikventilmechanismus so gestaltet ist, dass das piezoelektrische Betätigungsglied eine maximale Abgabekraft erzeugt, die so wirkt, dass sie den hydraulischen Druck beim Öffnen der Fluidöffnung durch das Ventilelement wirksam werden lässt, wobei die maximale Abgabekraft nach dem Öffnen der Fluidöffnung abnimmt und kleiner als die Hälfte einer maximal möglichen Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes bei Anlegen einer maximalen Arbeitsspannung an dem piezoelektrischen Betätigungsglied eingestellt ist.

2. Hydrauliksteuerventil gemäß Anspruch 1, wobei der Hydraulikventilmechanismus einen Kolben mit einem großen Durchmesser und einen Kolben mit einem kleinen Durchmesser hat, wobei der Kolben mit dem großen Durchmesser ein Umwandeln der Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes in den hydraulischen Druck bewirkt, wobei der hydraulische Druck an dem Kolben mit dem kleinen Durchmesser wirkt, um das Ventilelement zum Öffnen der Fluidöffnung zu bewegen, wobei der hydraulische Druck als eine Funktion eines Durchmesserhältnisses von dem Kolben mit dem großen Durchmesser gegenüber dem Kolben mit dem kleinen Durchmesser verstärkt wird, und wobei das Durchmesserverhältnis so bestimmt ist, dass die maximale Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes bei offener Fluidöffnung kleiner als die Hälfte der maximal möglichen Abgabekraft von diesem eingestellt ist.

3. Hydrauliksteuerventil gemäß Anspruch 1, wobei die maximale Abgabekraft, die an dem hydraulischen Druck wirkt, wenn die Fluidöffnung durch das Ventilelement geöffnet wird, größer als oder gleich wie ein Viertel der maximal möglichen Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes eingestellt ist.

4. Kraftstoffeinspritzeinrichtung mit:  
einem Kraftstoffsprühmechanismus, der ein Sprühen von Kraftstoff bewirkt; und  
einem Hydrauliksteuerventil mit einem piezoelektrischen Betätigungsglied und einem Hydraulikventilmechanismus, der ein Betätigen des Kraftstoffsprühmechanismus bewirkt, wobei das piezoelektrische Betätigungsglied ein verformbares Element hat, das aus einem Material hergestellt ist, das eine mechanische Verformung bei Anlegen einer Spannung erzeugt, wobei der Hydraulikventilmechanismus ein Umwandeln der Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes in einen hydraulischen Druck bewirkt, um ein Ventilelement hydraulisch zum wahlweisen Öffnen und Schließen einer Fluidöffnung zu bewegen, wodurch ein zweiter hydraulischer Druck gesteuert wird, der zum Betätigen des Kraftstoffsprühmechanismus dient, wobei der Hydraulikventilmechanismus so gestaltet ist, dass das piezoelektrische Betätigungsglied eine maximale Abgabekraft zum Wirksamwerden des hydraulischen Drucks erzeugt, wenn die Fluidöffnung durch das Ventilelement geöffnet ist, wobei die maximale Abgabekraft abnimmt, nachdem die Fluidöffnung geöffnet ist, und kleiner als die Hälfte einer maximal möglichen Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes bei Anlegen einer maximalen Arbeitsspannung an dem piezoelektrischen Betätigungsglied eingestellt ist.

5. Kraftstoffeinspritzeinrichtung gemäß Anspruch 4, wobei der Kraftstoffsprühmechanismus eine Hydrauliksteuerkammer hat, in der ein hydraulischer Druck

wirkt und gesteuert wird, indem wahlweise die Fluidöffnung durch das Ventilelement des Hydraulikventilmechanismus geöffnet und geschlossen wird, um eine Fluidverbindung zwischen der Hydrauliksteuerkammer und einem Niederdruckkanal jeweils zu errichten und zu blockieren, und wobei der hydraulische Druck in der Hydrauliksteuerkammer eine Bewegung einer Düsenadel zum Öffnen oder Schliessen eines Sprühlochs zum Starten oder Beenden einer Kraftstoffeinspritzung bewirkt.

6. Kraftstoffeinspritzeinrichtung gemäß Anspruch 5, wobei der Hydraulikventilmechanismus eine Hydraulikkammer hat, in der die Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes in den hydraulischen Druck umgewandelt wird und die Höhe als eine Funktion der Verformung des piezoelektrischen Betätigungsgliedes geändert wird, wobei der hydraulische Druck in der Hydraulikkammer des Hydraulikventilmechanismus eine Bewegung des Ventilelements zum Öffnen der Fluidöffnung bewirkt, wodurch die Fluidverbindung zwischen der Hydrauliksteuerkammer und dem Niederdruckkanal verwirklicht wird, um den hydraulischen Druck in der Hydrauliksteuerkammer zum Starten der Kraftstoffeinspritzung zu senken.

7. Kraftstoffeinspritzeinrichtung gemäß Anspruch 4, wobei die maximale Abgabekraft, die an dem Hydraulikdruck beim Öffnen der Fluidöffnung durch das Ventilelement wirkt, größer als oder gleich wie ein Viertel der maximal möglichen Abgabekraft des piezoelektrischen Betätigungsgliedes eingestellt ist.

8. Hydrauliksteuerventil mit:  
einem Betätigungsglied, das so arbeitet, dass es mechanisch unter Aufbringung elektrischer Energie verformt wird; und

einem Hydraulikventilmechanismus, der ein Umwandeln einer Verformung des Betätigungsgliedes in einen hydraulischen Druck und ein Ändern des hydraulischen Drucks als eine Funktion der Verformung des Betätigungsgliedes zum Bewegen eines Ventilelements bewirkt, um entweder eine zu einem Hochdruckkanal führende Hochdrucköffnung oder eine zu einem Niederdruckkanal führende Niederdrucköffnung zu schließen, wenn die elektrische Energie auf das Betätigungsglied aufgebracht wird, wobei der Hydraulikventilmechanismus ein Öffnen der Niederdrucköffnung durch das Ventilelement bewirkt, während die Hochdrucköffnung geschlossen wird, wenn die elektrische Energie von dem Betätigungsglied abgegeben wird, wobei der Hydraulikventilmechanismus ein Öffnen der Hochdrucköffnung bewirkt, während die Niederdrucköffnung geschlossen wird, wobei der Hydraulikventilmechanismus so gestaltet ist, dass die auf das Betätigungsglied aufgebrachte Energie beim Öffnen der Niederdrucköffnung größer als oder gleich wie eine elektrische Energie ist, die zum Schließen der Hochdrucköffnung erforderlich ist.

9. Hydrauliksteuerventil gemäß Anspruch 8, wobei der Hydraulikventilmechanismus eine Hydraulikkammer, in der die Verformung des Betätigungsgliedes in den hydraulischen Druck eines Arbeitsfluids umgewandelt wird und die Höhe als eine Funktion der Verformung des Betätigungsgliedes geändert wird, und einen Kolben hat, an dem der hydraulische Druck wirkt, um das Ventilelement so zu bewegen, dass das Ventilelement an entweder einem um die Niederdrucköffnung herum ausgebildeten Niederdrucköffnungssitz oder an einem um die Hochdrucköffnung herum ausgebildeten Hochdrucköffnungssitz ruht, und wobei der

Hydraulikventilmechanismus so gestaltet ist, dass er die nachstehende Beziehung erfüllt:

$$S_H \cdot P \cdot L + \frac{1}{2} \cdot (S_H \cdot P/s)^2 \cdot V/\gamma \leq \frac{1}{2} \cdot (S_L \cdot P/s)^2 \cdot V/\gamma$$

wobei  $S_L$  eine Fläche ( $\text{mm}^2$ ) des Niederdrucköffnungs-sitzes ist,  $S_H$  eine Fläche ( $\text{mm}^2$ ) des Hochdrucköffnungs-sitzes ist,  $V$  ein Volumen ( $\text{mm}^3$ ) der Hydraulikkammer ist,  $\gamma$  ein Kompressionsmodul ( $\text{kg/mm}^2$ ) des Arbeitsfluids in der Hydraulikkammer ist,  $s$  eine Fläche ( $\text{mm}^2$ ) des Kolbens ist, an dem der hydraulische Druck wirkt,  $L$  ein Abstand ( $\text{mm}$ ) ist, den das Ventilelement von der Niederdrucköffnung zu der Hochdrucköffnung zurücklegt, und  $P$  ein Druck ( $\text{kg/mm}^2$ ) in dem Hochdruckkanal ist.

10. Hydrauliksteuerventil gemäss Anspruch 8, wobei das Betätigungsglied durch entweder ein piezoelektrisches Betätigungsglied oder ein magnetostriktives Betätigungsglied ausgeführt ist.

11. Kraftstoffeinspritzeinrichtung mit:

einem Kraftstoffsprühmechanismus, der ein Sprühen von Kraftstoff bewirkt; und

einem Hydrauliksteuerventil, das ein Betätigungsglied und einen Hydraulikventilmechanismus hat, der ein Betätigen des Kraftstoffsprühmechanismus bewirkt, wobei das Betätigungsglied so arbeitet, dass es bei Aufbringen von elektrischer Energie mechanisch verformt wird, wobei der Hydraulikventilmechanismus ein Umwandeln der Verformung des Betätigungsgliedes in einen hydraulischen Druck und eine Änderung des hydraulischen Drucks als eine Funktion der Verformung des Betätigungsgliedes bewirkt, um ein Ventilelement zu bewegen, um entweder eine zu einem Hochdruckkanal führende Hochdrucköffnung oder eine zu einem Niederdruckkanal führende Niederdrucköffnung zu schließen, um einen zweiten hydraulischen Druck zu steuern, der zum Betätigen des Kraftstoffsprühmechanismus dient, wenn die elektrische Energie auf das Betätigungsglied aufgebracht wird, wobei der Hydraulikventilmechanismus ein Öffnen der Niederdrucköffnung durch das Ventilelement bewirkt, wenn die Hochdrucköffnung geschlossen ist, wenn die elektrische Energie von dem Betätigungsglied abgegeben wird, wobei der Hydraulikventilmechanismus ein Öffnen der Hochdrucköffnung bewirkt, während die Niederdrucköffnung geschlossen ist, wobei der Hydraulikventilmechanismus so gestaltet ist, dass die auf das Betätigungsglied beim Öffnen der Niederdrucköffnung aufgebrauchte elektrische Energie größer als oder gleich wie eine elektrische Energie ist, die zum Schließen der Hochdrucköffnung erforderlich ist.

12. Hydrauliksteuerventil gemäss Anspruch 11, wobei das Betätigungsglied durch entweder ein piezoelektrisches Betätigungsglied oder ein magnetostriktives Betätigungsglied ausgeführt ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



FIG. 1

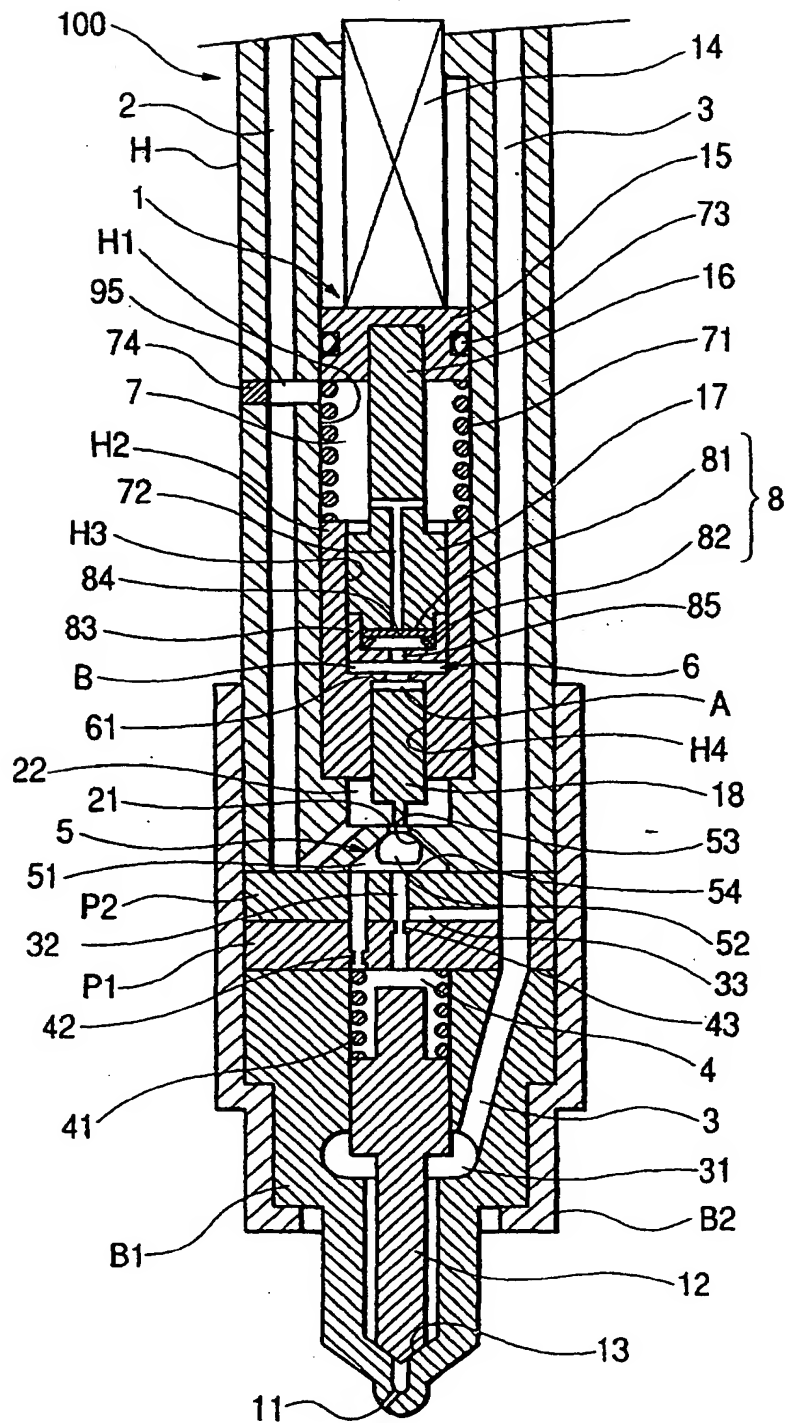


FIG. 2(a)

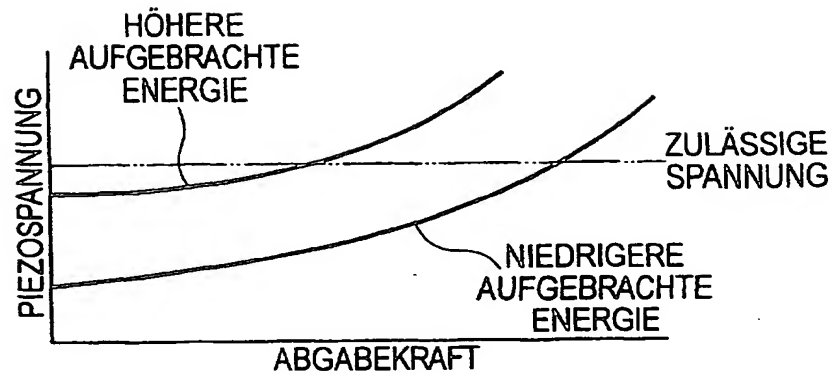


FIG. 2(b)

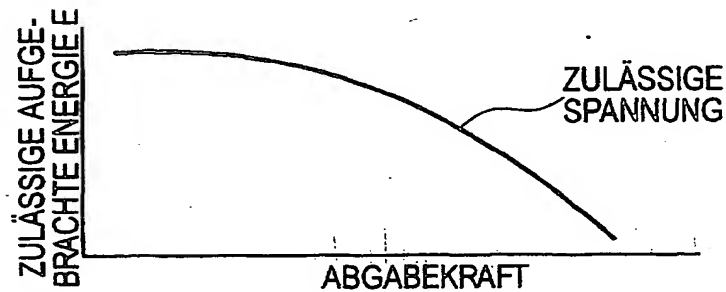


FIG. 2(c)

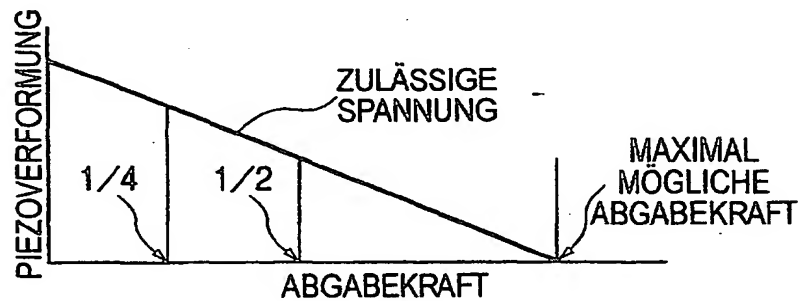
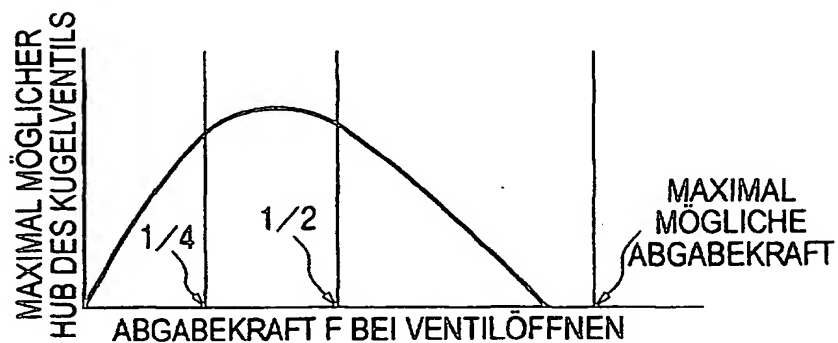


FIG. 2(d)



**FIG. 3**

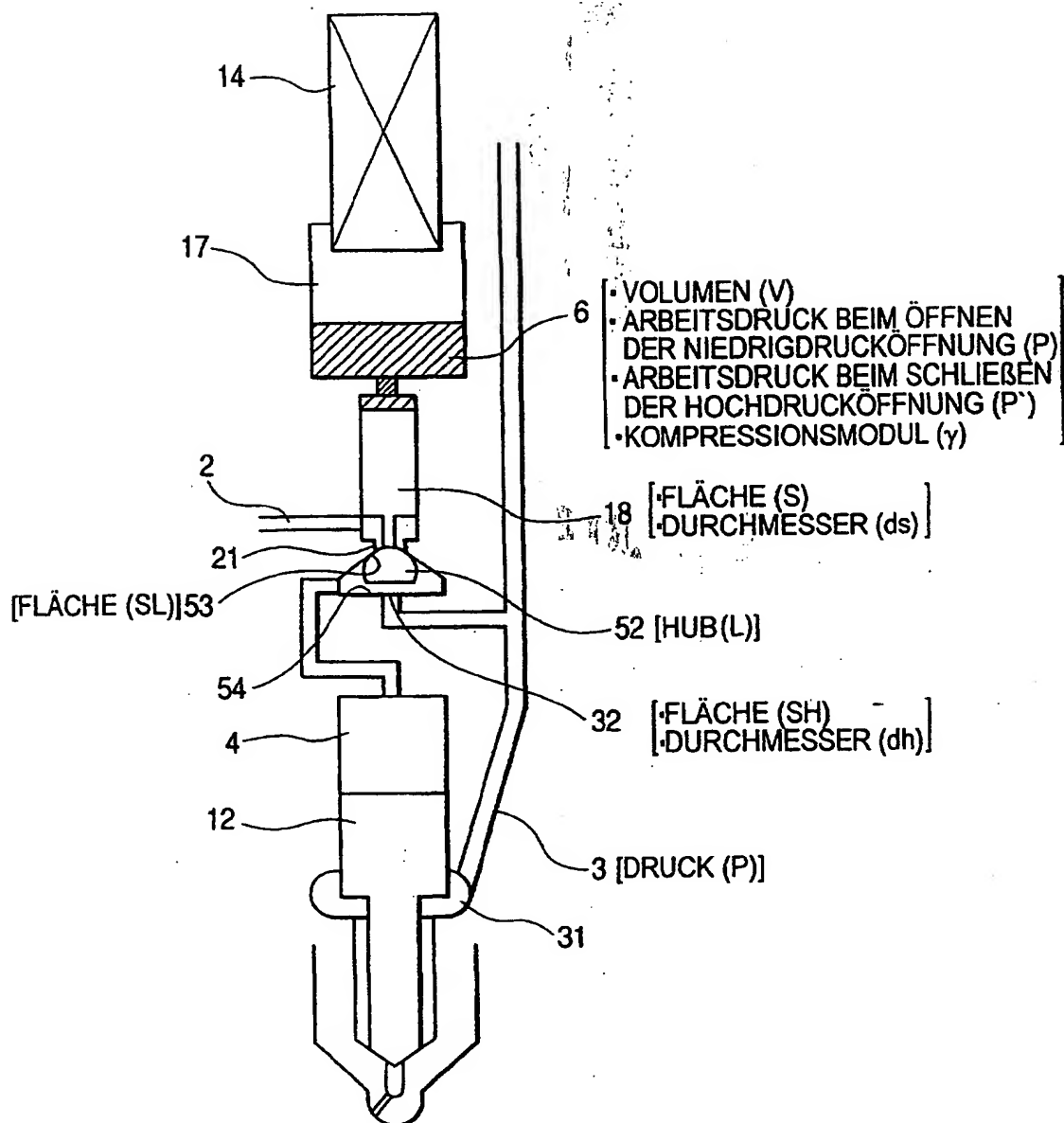


FIG. 4(a)

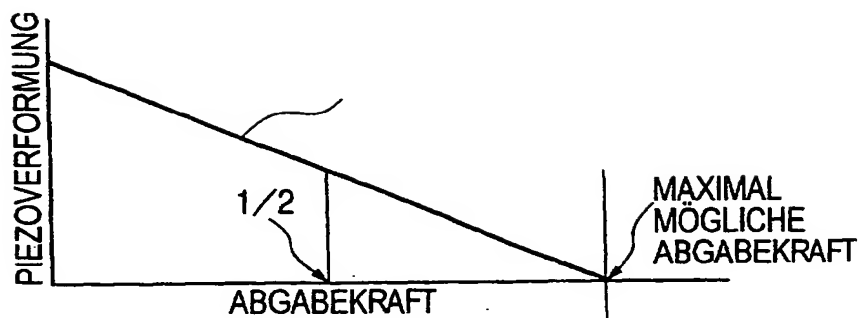


FIG. 4(b)

